

Kestävän talouskasvun ja hyvinvoinnin tavoittelu  
kompleksisuusteorian ja lämpöopin näkökulmasta  
- Saksan Energiewende esimerkkinä siitä, miksi energiatransformaatio on  
haastavaa kaikkialla

Ville Hulkkonen

Helsingin yliopisto

Valtiotieteellinen  
tiedekunta

Yleinen valtio-oppi:  
maailmanpolitiikan  
tutkimus

Pro gradu –tutkielma

Maaliskuu 2019

Tiedekunta - Fakultet - Faculty		Laitos - Institution - Department	
Valtiotieteellinen		Yleisen valtio-oppi	
Tekijä - Författare - Author			
Ville Hulkkonen			
Työn nimi - Arbetets titel			
Kestävän talouskasvun ja hyvinvoinnin tavoittelu kompleksisuusteorian ja lämpöopin näkökulmasta - Saksan Energiewende esimerkkinä siitä, miksi energiatransformaatio on haastavaa kaikkialla			
Oppiaine - Läroämne - Subject			
Maailmanpolitiikan tutkimus			
Työn laji		Aika	Sivumäärä
Pro gradu -tutkielma		7.3.2019	73
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Ilmastonmuutoksen pysäyttämistä ja kestävän yhteiskunnallisen kehityksen sekä talouskasvun tavoittelusta on tullut yksi maailmanpolitiikan kiperimmistä kysymyksistä.</p> <p>Tutkimuskohteenani on saksalainen yhteiskunta ja Saksan liittotasavallan energiasstrategia – energiewende. Olen valinnut tutkimuskohteeni kuvatakseni yleisesti sitä, kuinka vääränlaiset premissit voivat johtaa epärealistiseen politiikkatoteutukseen ja tavoitteiden kannalta ristiriitaiseen lopputulemaan.</p> <p>Tutkimuksessani osoitan, kuinka tietyt keskeiset fysikaaliset reunaehdot vaikuttavat myös ihmisyyshyönteiden ja yhteiskuntien kykyyn järjestäytyä. Tässä mielessä tutkimukseni on luonteeltaan selittävä. Tutkimukseni teoreettinen viitekehys syntyy systeemiteorian erilaisia muotoja hyödyntämällä. Tutkimushypoteesini syntyy systeemiteoreettista viitekehystä ja luonnontieteiden pääsäännöistä syntyvistä lähtökohdista. Analyysiosiossa verrataan erilaisten energiapolitiittisten skenaarioiden toteutuskelpoisuutta systeemi- ja kompleksisuusteoreettisen viitekehysten valossa.</p> <p>Tutkimukseni keskeisin johtopäätös liittyy Energiewenden puutteellisiin premisseihin. Energiewenden implisiittisenä tausta-ajatuksena on mahdollisuus talouskasvun ja energiankulutuksen irtikytkymisestä. Sille ei kuitenkaan lämpöopin ja kompleksisuusteorian valossa näytä olevan edellytyksiä.</p>			
Avainsanat Ilmastonmuutos, energiapolitiikka			
Säilytyspaikka - Förvaringsställe - Where deposited			
Helsingin yliopiston kirjasto, keskustakampuksen kirjasto, Yleinen valtio-oppi			

# 1) Sisällysluettelo

1) Sisällysluettelo .....	3
2) Johdanto .....	5
a) TAUSTAA TUTKIMUKSELLE .....	6
EVOLUUTIOSSA, BIOLOGIASSA JA YHTEISKUNNISSA .....	9
c) TUTKIMUKSEN ESITTELY .....	11
3) Teoria.....	14
a) FYSIKAALISET REUNAEDOT.....	15
b) ELÄMÄN ELI ENTROPIAN KEHITYS .....	23
1. TULI .....	31
2. PUHE, KIELI JA INFORMAATIO .....	32
3. MAANVILJELYS JA KAUPUNGIT .....	34
4. TEOLLISUUS.....	34
5. ÖLJY.....	35
6. SÄHKÖ .....	36
7. DIGITALISAATIO .....	36
TALOUSKASVU (BKT) .....	37
HYVINVOINTI (HDI) .....	38
c) KOMPLEKSISUUSTEORIA.....	41
4) Aineisto ja menetelmät .....	47
5) Analyysi.....	48
a) ILMASTONMUUTOS JA ENERGIAN HINTA SAKSASSA.....	50
c) SAKSAN LYHYT ENERGIAHISTORIA.....	54

d) AINEISTON TARKASTELU: ENERGIEWENDE .....	56
e) ENERGIEWENDE JA EROIE .....	57
f) SAKSAN ULKOPUOLELLA TUOTETUT TAVARAT JA PALVELUT .....	62
6) Johtopäätökset .....	66
7) Lainatut lähteet .....	71

---

## 2) Johdanto

*“Energia on ainoa universaali valuutta: Se pitää muuttaa muodosta toiseen, jotta jotain saataisiin aikaiseksi.”*

*Vaclav Smil (Energy in World History, 1994, s. 1)*

Ilmastonmuutoksen pysäyttämisestä ja kestäväen kasvun tavoittelusta on tullut yksi maailmanpolitiikan kiperimmistä kysymyksistä. Tutkimuksessani pyrin selittämään miksi päästöttömään ja uusiutuvaan energiantuotantoon tähtäävän energiatransformaation toteuttaminen puutteellisilla premisseillä on vaikeaa ja jopa mahdotonta. Tutkimuskohteenani on saksalainen yhteiskunta ja Saksan liittotasavallan energiastrategia. Olen valinnut tutkimuskohteeni kuvatakseni yleisesti sitä, kuinka väärienlaiset premissit voivat johtaa epärealistiseen politiikkatoteutukseen ja vaikeuttaa yhden maailmanpolitiikan keskeisimmän pyrkimyksen toteuttamisesta kestäväällä tavalla. Tässä mielessä uskon, että esimerkki Saksan energiapoliittisista pyrkimyksistä auttaa ymmärtämään laajemmin maailmanpoliittisessa ulottuvuudessa erilaisia toimijoita ja intressejä tässä keskeisessä kysymyksessä.

Tutkimuksessani osoitan, kuinka kosmisella tasolla pätevät fysikaaliset reunaehdot vaikuttavat myös ihmis yhteisöjen ja yhteiskuntien kykyyn järjestäytyä. Tässä mielessä tutkimukseni on luonteeltaan selittävä.

Tutkimukseni teoreettinen viitekehys syntyy systeemiteorian erilaisia muotoja hyödyntämällä. Tutkimushypoteesini syntyy systeemiteoreettista viitekehystä ja luonnontieteiden pääsäännöistä syntyvistä lähtökohdista: Mikään systeemi ei kykene lisäämään tai säilyttämään kompleksisuuden astettaan ilman tietyn energiasiteetin ylläpitämistä tai sen kasvattamista.

Tarkastelun kohteena olevaksi systeemiksi olen valinnut Saksan liittotasavallan. Sen avulla testaan tutkimushypoteesiani suhteessa maan energiapoliittisiin tavoitteisiin. Saksan energiastrategia tähtää energiatransformaatioon, jonka tavoitteena on ilmastonmuutoksen ja luonnonvarojen kannalta kestäväen kehityksen turvaaminen vaihtamalla sähköntuotannossa käytetyt fossiiliset polttoaineet uusiutuviin ja

parantamalla energiatehokkuutta. Tämä tavoite on yksi 2000-luvun maailmanpolitiikan kiperimmistä kysymyksistä ja siten tutkimuksen merkitys maailmanpolitiikan tutkimuksen kannalta on merkittävä. Saksasta kiinnostavan tutkimuskohteen tekee paitsi sen selkeästi eksplikoidut tavoitteet ja toimeenpanon seuranta myös sen relevanssi maailmanpolitiikan tutkimuksen kannalta. Saksan Energiewendenä tunnettu energiastrategia on kerännyt laajasti huomiota ympäri maailmaa eri toimijoiden puolesta. Maailmanpoliittisilla areenoilla ja niiden toimijoiden kesken kommentoidaan ja otetaan usein kantaa Energiewenden puolesta tai sitä vastaan, joten sen merkitys energiapoliittisena ja maailmanpoliittisena kohteena on merkittävä. (Klein, 2014)

## a) TAUSTAA TUTKIMUKSELLE

Ihmiskunnan historiaa voi tarkastella energiankulutuksen historiana, jossa merkittävät kehitysaskleet liittyvät kykyyn hyödyntää maapallon materiaali- ja energiavirtoja uusilla, aiempaa tehokkaammilla tavoilla. Tällaiset tapahtumat ovat liittyneet esimerkiksi teknologisiin, tieteellisiin ja sosiaalisiin läpimurtoihin, joiden avulla käyttöön on saatu uusia energialähteitä tai onnistuttu parantamaan tehokkuutta vanhoissa tavoissa tuottaa ja kuluttaa energiaa.

Suurin yksittäinen muutos energiahistoriassa tapahtui noin 300 vuotta sitten, kun ensin kivihiilen ja sittemmin muiden fossiilisten polttoaineiden hyödyntäminen tuli mahdolliseksi uusien teknologioiden myötä. Fossiilisten polttoaineiden hyödyntäminen sysäsi koko ihmiskunnan ennennäkemättömälle kehityksen uralle niin taloudellisten, sosiaalisten ja monien muidenkin mittareiden valossa.

Kolmatta vuosisataa kestänyt kasvu on ollut eksponentiaalista, mutta viimeisimmät vuosikymmenet ovat paljastaneet uutta tietoa ja käytännön haasteita, jotka pakottavat tarkastelemaan suhdettamme energiaan ja sen kulutuksen sivuvaikutuksiin uudelleen. Rooman klubina tunnettu yhteisö varoitti kasvun materiaalisista rajoista ensimmäisen kerran jo vuonna 1972, juuri ennen maailmantalouden taantumaan sysännyttä vuoden 1973

öljykriisiä. Rooman klubille laadittu raportti perustui systeemianalyysiin, jonka johtopäätelmässä todettiin kasvun ylläpitämisen olevan riippuvainen materiaali- ja energiavirroista. (Meadows;Randers;& Meadows, 1972)

1970-luvun öljykriisin hellitettyä myös huoli kasvun rajoista painui hetkellisesti taka-alalle. Nykyisinkin valloilla oleva taloustiede, jossa talouskasvun tärkeimpinä elementteinä pidetään teknologiaa, innovaatioita ja pääomia, perustuu uskoon kasvun rajattomuudesta eikä tunnista energiaan ja materiaan liittyviä reunaehtoja. (Jackson, 2011)

Yhä kalliimmaksi muodostuvat energian hinnat ja energiankulutukseen liittyvät kielteiset sivuvaikutukset ovat kuitenkin pakottaneet yhteisöjä eri puolilla maailmaa tarkastelemaan omaa suhdettaan energiaan lyhyemmällä ja pidemmällä aikavälillä uusista näkökulmista. Erityisesti 2000-luvun aikana on alettu puhumaan uudesta globaalista energiareformista. Sillä viitataan tarpeeseen korvata konventionaaliset fossiiliset energialähteet uusiutuvilla ja vähäpäästöisillä energialähteillä ja uusilla kestävimmillä tavoilla hyödyntää energiaa.

Energiareformin tarve on moninainen, mutta siinä korostuvat kaksi pääelementtiä. Ensiksi, teollisella aikakaudella riippuvuutta aiheuttaneiden fossiilisten energialähteiden öljyn, maakaasun ja kivihiilen laatu, saatavuus ja hyödynnettävyys on muuttunut jatkuvasti hankalammaksi ja kalliimmaksi. Samalla kun globaali kysyntä polttoaineita kohtaan kasvaa hurjaa vauhtia, ei niiden tuotantokustannuksia ole ollut mahdollista pitää entisellä tasollaan.

Toinen keskeinen syy energiareformien taustalla liittyy niiden aiheuttamaan ilmastonlämpenemistä kiihdyttävään sivuvaikutukseen. Fossiilisten polttoaineiden hyödyntäminen nykYTEknologian- ja infrastruktuurin avulla aiheuttaa merkittäviä kasvihuonepäästöjä, jotka lämmittävät ilmastoa ja uhkaavat vähentää planetaarista tasapainoa aiheuttaen muun muassa talouteen, ruuantuotantoon ja turvallisuuteen liittyviä riskejä, joiden vuorovaikutuksetjut ovat globaaleja. (Homer-Dixon, 2006) Ilmastomuutoksen hillitseminen on noussut niin kansallisvaltioiden kuin globaalin energiapolitiikan tärkeäksi päämääräksi. Erityisesti kansanvaltaisissa demokratioissa siitä on tullut yksi merkittävimmistä kansalaisyhteiskunnan vaatimuksista niin globaalisti kuin paikallisesti ja synnyttänyt sosiaalista ja poliittista joukkovoimaa, joka on muuttunut näkyväksi niin kansallisen kuin kansainvälisen politiikan päätöksenteossa (Muller, 2017). Kansainväliset ilmastopoliittiset neuvottelut ovat

pyrkineet vuosikymmenten ajan sopimaan globaaleista päästörajoitteista, joiden on toivottu hillitsevän fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja lisäävän uusiutuvien ja vähäpäästöisten energiamuotojen käyttöä.

Tutkimuksessani minua kiinnostaa ymmärtää miksi energiatransformaation toteuttaminen on niin hidasta ja vaikeaa kuin se on. Saksan tapauksessa energiastrategian tavoitteet ovat kunnianhimoiset ja julkinen lainsäädäntö ja tuki on ohjannut toimeenpanoa vauhdikkaasti tavoitteiden suuntaan. Siitä huolimatta Energiewenden ensimmäisen vuosikymmenen aikana varsinaisissa tavoitteissa ei olla edetty.

Löytääkseni vastauksia tutkimuskysymykseeni, olen valinnut tutkittavaksi kohteeksi yksittäisen kansallisvaltion. Tarkastelen siis sitä, miten energiatransformaatio näkyy kansallisvaltiotasoisissa energiapolitiisissa strategioissa. Olen valinnut tarkasteltavaksi kohteeksi Saksan ja sen vuodesta 2010 hyväksytyn ja toimeenpannun energiastrategian. Saksan energiastrategia on kunnianhimon tasoltaan ja tavoitteiltaan erottuva ja saanut osakseen paljon huomiota. Se tunnetaan yleisesti sen saksankielisellä nimellä Energiewende ("energiakäännös").

Olen valinnut tutkimuskohteekseni kansallisvaltion paitsi systeemiteoreettisen viitekehyksen kannustamana, myös kansallisvaltiosta löytyvän tilastoidun aineiston ja sen vertailukelpoisuuden vuoksi. Saadakseni tutkimuksessani mahdollisimman todennäköisen kuvan Saksan toteuttamasta energiareformista, tulen strategiapapereiden lisäksi analysoimaan myös tosiasiallista muutosta energian kulutuksessa ja tuotannossa ja erityisesti sen suhdetta talouskasvuun ja hyvinvoinnin kasvattamiseen, jotka ovat oleellinen osa Energiewenden tavoitteita.

Kansallisilla energiapolitiikoilla on myös kansainvälisiin suhteisiin vaikuttavat ulottuvuutensa. Energian hinnan noustessa kärsivät erityisesti ne valtiot, jotka ovat riippuvaisia tuontienergiasta. Toisaalta myös monet tuottajamaat ovat ryhtyneet uudistamaan talouttaan valmistautuessaan tuotannon hiipumiseen raaka-aineiden ehtyessä ja tuotantokustannusten

---

noustessa. Tässä tutkimuksessa keskityn kuitenkin selittämään syitä yksittäisen systeemin toiminnallisuuden ymmärtämiseksi.



Edellä kuvatut muuttujat ovat luoneet murroksen perinteisessä energiapoliittisessa asetelmassa globaalisti ja kansallisesti. Eri kansallisvaltioiden reaktiot tilanteeseen vaikuttavat kuitenkin keskenään erilaiselta. Näin siitä huolimatta, että globaali koordinaatio ja regulaatio on pyrkinyt pikemminkin yhdenmukaistamaan energiapoliittisia ratkaisuja. Tilanteen muuttuessa on selvää, että jäljelle jää sekä voittajia että häviäjiä. Siirtyminen uuteen energianormistoon on houkuttelevampaa niille, jotka näkevät siinä suhteellisen lisäarvon siirtymistä itselleen, ja päinvastoin. Tässä tutkimuksessa tutkimuksen kohteena on Saksa ja saksalainen yhteiskunta. Saksan energiastrategiassa voi nähdä olevan pelissä suuret panokset. Monet näkevät siinä tarpeettomia riskejä, toiset oikeaoppista vastuuta tulevaisuudesta. Joka tapauksessa sen toteuttaminen näyttää takkuavan ja pyrkimykseni tässä tutkimuksessa on selvittää, miksi se on niin vaikeaa.

## **b) AINE, ENERGIA JA ENTROPIA SEKÄ NIIDEN MERKITYS**

### **EVOLUUTIOSSA, BIOLOGIASSA JA YHTEISKUNNISSA**

Yhteiskuntatieteellinen tutkimukseni lähestyy tarkasteltavaa aihetta vahvasti luonnontieteellisiä lähtökohtia hyödyntäen. Yhdistämällä yhteiskuntatieteellistä tutkimusta empiirisen luonnontieteen vahvimpiin reunaehtoihin, syntyy kiinnostava viitekehikko, jossa energian merkitys yhteiskuntien toiminnalle ja kehitykselle tulee oleellisella tavalla ymmärretyksi. Tarkastelun kohteena oleva energiapoliittinen päätöksenteko saattaa tapahtua ilman riittävän huomion kiinnittämistä fysikaalisiin ja materialistisiin reunaehtoihin, jotka ympäröivässä universumissa vallitsevat ja vaikuttavat. Toisaalta yhteiskuntatieteellisin keinoin voidaan lisätä ymmärrystä niistä syistä, jotka mahdollisesti synnyttävät tällaisia puutteellisista premisseistä kumpuavia harhakäsityksiä. Minkälaiset normatiiviset, kulttuuriset tai ideologiset syyt vaikuttavat siihen, miten päätöksiä energiapolitiikan osalta Saksassa tehdään?

Tutkimuksessa energian ohella toinen merkittävä käsitteistö liittyy lämpöoppiin ja entropiaan. Pyrin osoittamaan, miten nämä fysikaaliset reunaehdot ovat vaikuttaneet ja asettaneet puitteet läpi kosmisen ja biologisen historian sille, miten elolliset ja elottomat systeemit ovat kehittyneet ja vuorovaikuttaneet toinen toistensa sekä ympäristönsä kanssa. Tutkimukseni teoriaosiossa

erittelen näitä fysikaalisia reunaehtoja tarkemmin niiltä osin kuin ne tutkimuksen kannalta ovat mielekkäitä.

Lisäksi on hyvä todeta, että tässä tutkimuksessa energia määritellään laajasti siten kuin luonnontieteissä on tapana. Energialla ei siis viitata pelkästään polttoaineisiin tai tuotantomuotoihin, kuten kivihiili tai aurinkovoima.

Energia on maailmankaikkeuden merkittävin asia, sikäli kun muutokselle ja elämän ja tietoisuuden kehittymiselle jokin arvo halutaan antaa. Tästä näkökulmasta on yllättävää, kuinka vähän energialle ja sen fysikaalisille reunaehdoille on annettu painoarvoa ihmistieteissä. Tämä jo itsessään lisää mielestäni tutkimukseni merkitystä ja tekee siitä kiinnostavan.

Tämä tutkimus osoittaa energian perustavanlaatuisen merkityksen niin ihmiskunnan kuin koko kosmisen evoluution kannalta. Kosmisella evoluutiolla tarkoitetaan fyysisen, biologisen ja kulttuurisen evoluution synteisiä. Niitä kaikkia yhdistää lämpöopin toisen päälauseen sääntö entropiasta ja energiavirroista. Niiden perusteella mikä tahansa systeemi voi nostaa kompleksisuuden astettaan hyödyntämällä aiempaa enemmän sen ulkopuolisia energiavirtoja. Samalla kun systeemi nostaa omaa energiaintensiteettiään, tulee se korkeammasta energiavirran tasosta riippuvaiseksi eikä voi palata aiempaan tilaan. Tämä pätee myös ihmis yhteisöjen kykyyn järjestäytyä, pitää järjestystä yllä ja kehittää sitä edelleen.

Käyn myöhemmin läpi muutamia historiallisia esimerkkejä, jotka osoittavat minkälaisia seurauksia yhteisöjen energiaintensiteetin putoamisella on ollut. Tässä tutkimuksessa oleellista on ymmärtää energiaintensiteetin näkökulmasta sitä, onko Saksalla mahdollisuutta poiketa nykyisestä energiaintensiteetin tasostaan alemmas ilman vakavia komplikaatioita ja minkälaisessa ristiriidassa ne ovat tarkastelun kohteena olevan energiatrategian kanssa. Saksan tapaus toimii esimerkkinä, kun pyrimme ymmärtämään maailmanpoliittisesti tärkeän kysymyksen luonnetta eli minkälaiset mahdollisuudet erilaisilla toimijoilla on suhteessa tavoitteeksi asetettuun energiatransformaatioon.

Systeemi on tutkimukseni tärkeä yksikkö. Systeemillä voidaan tarkoittaa mitä tahansa mielivaltaisesti määriteltyä avointa systeemiä. Tässä tutkimuksessa se on saksalainen yhteiskunta. Avoin systeemi on sellainen, joka on vuorovaikutussuhteessa ympäristönsä kanssa. Systeemiajattelua on käytetty hyödyksi yhteiskuntatieteissä jo 1950-luvulta alkaen.

Esittelen tätä taustaa tarkemmin teoriaosuudessa.

### c) TUTKIMUKSEN ESITTELY

Tutkimuksen tarkoituksena on selittää, miksi ilmastonmuutoksen pysäyttäminen ja fossiilisista polttoaineista irtautuminen on kaikille tuntemillemme ihmisryhymille ja yhteiskunnille erityisen haastavaa ja ongelmallista. Tapausesimerkkinä Saksa on kiinnostava siksi, että sen energiapolitiikan tavoitteet on ilmaistu selkeästi ja niiden etenemisen seuraaminen on mahdollista tarkan tilastollisen aineiston perusteella. Saksan tapausta voidaan systeemitieteellisesti asetelmasta käsin yleistää myös muiden sistemien osalta, sillä olennaisimmat fysikaaliset reunaehdot oletetaan vakioiksi.

Tutkimuksen tarkoitusta voidaan luonnehtia selittäväksi. Mielestäni on kiinnostavaa pyrkiä ymmärtämään, miksi modernille demokraattiselle yhteiskunnalle on pohjimmiltaan niin vaikeaa reagoida ilmastonmuutoksen ja fossiilisten polttoaineiden kustannusten nousuun. Toisaalta tutkimuksella on myös kartoittava luonteensa, sillä tutkimuksessa käytettyä teoreettista pohjaa ei tietääkseni ole suoraan sovellettu aikaisemmin yksittäisen kansallisvaltion energiastrategiaan. Luonnontieteiden suora hyödyntäminen sosiaalitieteissä tuntuu sekin olevan edelleen vähemmän tutkittua aluetta ja rohkaisee etsimään uusia selitysmalleja myös yhteiskuntatieteessä ja maailmanpolitiikassa.

Tutkimuksen kohteena on Saksan energia- ja ilmastopoliittiset tavoitteet sellaisina kuin ne on maan virallisissa dokumenteissa eksplisiittisesti määritelty. Aineistona toimii siis Saksan vuonna 2010 julkaisema energiastrategia sekä sen myöhemmät liitännäisosat. Lisäksi analyysin vahvistamiseksi tutkimuksessa on hyödynnetty toteutuneita energiankulutukseen liittyviä lukuarvoja vertailukelpoisten tilastojen osalta.

Tutkimuskysymys kuuluu: Miksi Energiewendeksi kutsutun energiastrategian toteuttaminen valituilla premissillä on niin vaikeaa? Tutkimuskysymys viittaa tutkimuksen selittävään

muotoon. Olennaista tutkimuksessa on pyrkimys vahvistaa ymmärrystä niistä lähtökohdista ja premisseistä, joiden huomioon ottaminen erityisesti energiapoliittisessa päätöksenteossa ja yhteiskuntien johtamisessa on keskeistä. Selittävän otteen ohella pyrin johtopäätöksissä lyhyesti kuvaamaan myös tutkimuskysymykseen liittyvää kausaalista suhdetta eli sitä, miksi energiapolitiikassa on päädytty ratkaisuihin, jotka ovat väärin premissien varassa.

Teoreettinen tausta rakentaa pohjaa tutkimushypoteesilleni. Sen mukaan saksalainen yhteiskunta ei voi pienentää hyödynnettävän energian määrää sallimatta yhteiskuntansa nykyisten sosiaalisten, kulttuuristen, taloudellisten tai teknologisten toiminnallisuuden romahtamista. Tutkimushypoteesini mukaan Saksan Energiewende ei voisi toteutua, mikäli sen vaikutukset systeemin energian kokonaiskulutukseen olisivat merkittävällä tavalla negatiiviset. Tätä arvioin myöhemmin analyysiosassa muun muassa EROIE:n avulla.

Sikäli kun tiedämme, ei koko kosmisesta historiasta löydy esimerkkejä systeemeistä, jotka olisivat kyenneet säättämään energiantarvettaan hallitusti alaspäin lyhyellä tähtäimellä. Aivan erityisesti on selvää, ettei pienenevän energiantensiteetin tilassa ole mahdollisuutta hakea kasvua. Tässä mielessä talouskasvun ja hyvinvoinnin kasvattaminen eivät olisi mahdollisia pienenevän energian kokonaiskulutuksen tilassa. Tätä pyrin arvioimaan analyysiosiossa vertaamalla talouskasvun (BKT) ja hyvinvoinnin (HDI) suhdetta EROIE:iin.

Tässä tutkimuksessa kiinnostus liittyy Saksan energiastrategian tavoitteisiin korvata nykyinen atomivoimasta ja fossiilisista energianlähteistä saatava sähköenergia lähes kokonaan uusiutuvilla energiamuodoilla. Tutkimushypoteesin kannalta erityisen haastavalta strategia tuntuu siksi, että sen huomio kiinnittyy etupäässä tiettyjen vanhojen energiamuotojen alasajoon ja vasta toissijaisesti energiankokonaistuotantoon liittyviin näkökulmiin. Palaan tähän ongelmaan myöhemmin Saksan energiatransformaation tarkemman esittelyn yhteydessä.

Tutkimushypoteesini siis on, ettei Saksa kuten mikään muukaan systeemi, kykene ylläpitämään, saati kasvattamaan omaa kompleksisuuden astettaan kasvattamatta myös omaa energiatiheyttään. Koska Saksan valitsema energiastrategia ei ota huomioon tätä premissiä, tulee sen politiikkatoteutus törmäämään ylitsepääsemättömään esteeseen, jossa vaihtoehdot ovat joko supistaa saksalaisen yhteiskunnan hyvinvointia tai subventoida uusia energiamuotoja muilla energianlähteillä tavalla, joka ei aiheuta nettovähenemää

kokonaisenergiaintensiteetissä. Erityisen vaikeaksi muodostuu energiastrategian tavoite kasvattaa energiatransformaation ohessa myös taloutta (BKT) ja hyvinvointia.

Tutkimuksen lähtökohtana on hypoteesi energian saannin merkityksestä yhteiskunnan eri toimintojen ja kehityksen kannalta. Yhteiskunnat pyrkivät turvaamaan yritystensä, yhteisöjensä ja yksöidensä käyttöön mahdollisimman suuren määrän energiaa mahdollisimman pienin kustannuksin. Yleisesti ottaen poliittinen päätöksenteko ja yksityisen sektorin toiminta ohjaavat toimijoita tavoittelemaan pikemmin uutta kasvua ja sitä myöten energiankulutuksen lisäystä.

Koska osa valtioista on riippuvaisia tuodusta energiasta, merkitsee se sitä, että energiapolitiikalla on valtiokeskeisestä näkökulmasta tarkasteltuna aina myös vahva ulkopoliittinen ulottuvuutensa. Tätä perinteistä energian ympärille kietoutunutta ulkopoliittista pelikenttää on tutkittu kansainvälisten suhteiden ja maailmanpolitiikan tutkimuksissa enemmänkin, mutta tässä tutkimuksessa keskityn tutkimuskysymykseeni.

Tutkimuksen teoreettinen pohja on systeemiteoreettisessa ajattelussa, joka rakentuu voimakkaasti empiiriselle luonnontieteelliselle tutkimukselle. Tutkimuksen lähtökohtana on hyödyntää luonnontieteiden saralla kerättyä empiiristä tutkimustietoa kaikkien elollisten systeemien toiminnasta ja toimintojen suhteesta energiaan (lämpöoppi). Tutkimuksessa käytetään lisäksi, erityisesti David Christianin kirjallisuudesta kumpuavaa historian tutkimuksen Big History -koulukunnan (kaikkeuden historia) tarjoamaa viitekehystä kosmiseen historiaan ja sen tarjoamaan näkökulmaan kompleksisuuden asteittaisesta lisääntymisestä alkuräjähdyksestä moderniin verkottuneeseen ihmiskuntaan.

Systeemiteoreettisessa tarkastelussa pyrin osoittamaan, mikä merkitys energialla on yhteiskuntien kehityksen kannalta ollut ja miten ne samalla ovat tulleet peruuttamattomalla tavalla riippuvaisiksi suurten energiavirtojen hyödyntämisestä. Tästä näkökulmasta pyrin tarkastelemaan valtioiden kykyä reagoida energiansaantiinsa liittyviin muutoksiin tilanteessa, jossa konventionaaliset fossiiliset polttoaineet tarjoavat yhä vähemmän ylijäämäistä energiaa ja samalla uhkaavat häiritä planetaarista stabiilitettä (ilmastonmuutos), joka mm. ruuantuotannon kannalta on ihmiskunnalle ja sen vakaudelle oleellista.

Saksalaisen yhteiskunnan toimintojen kannalta on tärkeää ymmärtää, mitkä perustarpeet ja toiminnallisuudet myös muita tunnettuja eläviä organismeja ohjaa ja säätelee. Tärkeimpänä

lähtökohtana voi pitää fysiikan teoriaa lämpöopin. Erityisesti lämpöopin toinen – entropiaa kuvaava - päälause on tämän tutkimuksen kannalta avainasemassa.

Tutkimusaineistona toimii vuonna 2010 Saksan liittovaltion talous- ja teknologiaministeriön sekä ympäristö-, luonnonsuojelu ja ydinturvallisuus ministeriön julkaisema ” (Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi)) *Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply*” –raportti. Se on niin sanotun Saksan energiakäänteen (energiewende, energy transition) pohjadokumentti, joka kuvaa Saksan pyrkimystä muuttaa energiatuotantoaan kestäväksi vuoteen 2050 mennessä. Raportin lisäksi käsittelen, myös vuonna 2011 tehtyä lisäpäättöstä nopeuttaa maan ydinvoimaloiden sulkemista.

Tutkimuksen analyysiosassa tarkastelen Saksan virallisia arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista yhteiskunnalle sekä energia- ja ilmastostrategiassa kuvattuja tavoitteita ja keinoja tekstianalyysin keinoin.

Johtopäätöksissä arvin miten mainittujen dokumenttien lähtökohdat sopivat yhteen tutkimuksessa esitettyjen kompleksisuus- ja systeemiteoreettisen taustaoletusten kanssa ja voiko Saksan tavoitteita pitää niiden valossa oikeansuuntaisina ja tai toteutukseltaan realistisina. Toisaalta tutkimushypoteesini perusteella on myös mahdollista arvioida Energiewenden taustalla olevien premissien paikkansapitävyyttä ja kattavuutta ja siten vastata myös tutkimuksen alkuperäiseen tutkimuskysymykseen

---

### 3) Teoria

Tutkimuksen koko kiinnostus lähtee sen luonnontieteellisen tosiseikan tunnustamisesta, että energia enemmän kuin mikään muu, vaikuttaa siihen, miten mikään elollinen tai eloton systeemi rakentaa ja ylläpitää toimintojaan. Tässä mielessä tutkimukseni pyrkii ammentamaan totuuden käsittämiseksi tietoa kaikkialta sieltä mistä sitä on saatu ylipäänsä tieteen keinoin kasattua. Se tarkoittaa yhtäältä tieteenfilosofisena perustana Roy Bashkarin kuvaamaa kriittistä realismia, toisaalta David Christianin ja kaikkeudenhistorian tutkimuksen kaltaista kaiken tiedon kokoamista yhtenäiseksi narratiiviksi.

---

Tutkimuksessani oletetaan David Christianin aloittaman kaikkeuden historian koulukunnan tavoin, että systeemit seuraavat tiettyjä samoja lainalaisuuksia kosmisesta ja planetaarisesta tasosta biologiseen solutasoon ja psykologiseen ihmismieleen. Toisaalta myös Bashkarin muistutus siitä, että totuutta voidaan lähestyä vain huomioimalla niin empiiriset, sosiaaliset kuin filosofisen realismin näkökulmat. (Bashkar, 1975 (2008))

Energian merkitystä on mielestäni käsitelty liian vähän ja liian pintapuolisesti osana yhteiskuntatieteitä ja sen lähtökohtia. Ihmistieteissä olisi mielestäni otettava selkeämmin lähtökohdiksi ne tieteelliset löydökset, jotka teoreettisessa ja empiristisissä luonnontieteissä on kyetty havainnoimaan ja todentamaan.

Käyn tarkemmin läpi systeemiteorian sovellusaloja - erityisesti kaaosteorian ja kompleksisuusteorian osalta - yhteiskuntatieteissä teoriaosuuden loppuosiossa. Esittelen myös tarkemmin erityisesti kaikkeudenhistorian koulukunnasta ponnistavan Eric Chaissonin hahmotelmaa energiavirroista, jota erityisesti hyödynnän tutkimuksen teoreettisena kehikkona. Ensin kuitenkin on paikallaan asettaa suoraan empiristisestä luonnontieteestä tulevat reunaehdot, joiden määrittäminen on olennaista.

## a) FYSIKAALISET REUNAEHDOT

Tässä tutkimuksessa teoreettisen viitekehyksen ohella korostetaan selkeästi niitä fysikaalisia reunaehtoja, jotka osaltaan luovat edellytykset ja puitteet tapahtumille ja kausaliteetille tosielämässä.

Tässä suhteessa avaan hieman tarkemmin aineen ja energian; lämpöopin sekä systeemiajattelun sisältöjä niiltä osin kuin ne ovat relevantteja tutkimukseni kannalta. Käsitteiden avaamisen jälkeen käyn läpi tutkimuskohteeni kannalta oleellisen käytännön sovellutuksen eli sen minkälaisin ehdoin systeemit voivat energiaa hyödyntää.

Aine on massaa, joka varaa fyysistä tilaa ajassa ja paikassa. Se mitä energia on, ei nykyymmärryksen mukaan kokonaan ole pystytty selittämään. Se kuitenkin tiedetään, että energia ja aine ovat suhteessa toisiinsa, sillä aine voi muuttua energiaksi, ja energia voi järjestäytyä aineeksi. Tunnetun fyysikon Richard Feynmanin mukaan tiedämme, että kaikki aine

on energiaa levossa; että energia manifestoi itseään erilaisilla tavoilla ja että nämä energian eri olomuodot ovat linkittyneet toisiinsa lukuisilla eri konversioilla (Feynman, 1988, ss. 2-4). Tärkeimpänä johtopäätöksenä tämän tutkimuksen kannalta voimme todeta, että aine ja energia ovat sama ja toisistaan erottamaton asia. Tämä vaikuttaa myös siihen, miten mittaamme energian hyödyntämistä myöhemmissä tutkimuksen vaiheissa.

13 miljardia vuotta sitten, tapahtumassa jota kutsumme alkuräjähdykseksi, energia ja aine erkaantuivat toisistaan leviten erimuodoissa kaikkialle avaruuteen. Isaac Newtonin luoman kuuluisan teorian mukaisesti aine ja energia alkoivat järjestäytyä vaiheittain uusiin muotoihin. Syntyi tähtiä, tähtikuntia ja galakseja. Suotuisissa olosuhteissa aine ja energia yhdistyivät muotoaan muuttaviksi organismeiksi, joiden kyky hallita ympäristönsä energiavirtoja oli aivan erityinen. Tätä elollista materiaa ja sen evolutiivista kehitystä kutsumme elämäksi (Christian, 2004).

Lämpöoppi eli termodynamiikka on energian, lämmön, työn, entropian ja tapahtumien spontaanisuuden fysiikkaa. Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan energiaa ei voida luoda eikä hävittää. Sitä voidaan ainoastaan muuttaa muodosta toiseen. (Atkins, 2010). Näin ollen, yleinen puhekielinen tapa puhua energiantuotannosta on hieman harhaanjohtava siinä mielessä, ettei energiaa voida tuottaa vaan ainoastaan muuttaa muodosta toiseen. Tyydyn tässä tutkimuksessa kuitenkin puhumaan energian tuotannosta, sen vakiintuneen käytännön johdosta, ja koska samaa terminologiaa käytetään myös valitussa tutkimusaineistossa.

Lämpöopin ensimmäisen pääsäännön mukaan voidaan myös todeta, että systeemiin tuotu energia muuttuu lisäenergiaksi vähennettynä sillä työn määrällä, jonka systeemi lisäenergian hankkimiseksi suorittaa. Talous- ja yhteiskuntatieteissä käytetäänkin usein käsitettä EROIE (energy return on invested energy), jolla kuvataan sitä, kuinka monta energiayksikköä yhden uuden energiayksikön tuottaminen vaatii. (Suokko & Partanen, 2017) Avoin systeemi voi siis tietyissä olosuhteissa saavuttaa energiaylijäämäisen tilan. Jos systeemi haluaa käyttöönsä lisää energiaa, on sen pyrittävä löytämään sitä ympäristöstään. (Atkins, 2010). EROIE on keskeinen hyödyntämäni käsite osana kompleksisuuden tarkastelua tutkimuksessani.



Lämpöopin toinen pääsääntö kuvaa entropian kasvua. Juuri tämä pääsääntö on tämän tutkimuksen kannalta keskeinen sisältönsä ja vaikutustensa myötä. Entropia eli haje, kuvaa epäjärjestyksen määrää systeemissä. Entropian kasvu selittyy todennäköisyyslaskennalla. Koska järjestäytyneiden tilojen määrä on aina pienempi kuin epäjärjestyneiden, on todennäköisempää, että aine (hiukkaset) järjestyy ilman siihen kohdistuvaa ylimääräistä työtä (energia) epäjärjestykseen. Järjestyksen ylläpitäminen vaatii jatkuvasti riittävää systeemin ulkopuolista energiaa, jotta se voi säilyttää omat toimintonsa.

Siihen miten systeemit hyödyntävät ympäristönsä energiavirtoja palaan hieman myöhemmin, mutta ensin on käsiteltävä vielä eräs tutkimuksen biofysikaalisten reunaehtojen kannalta oleellinen käsite eli systeemi.

Yksi lämpöopin ja siten koko tämän tutkimuksen pääkäsite on systeemi. Systeemillä tarkoitetaan osaa, jonka todellinen tai kuviteltu raja erottaa sen ympäristöstään. Tässä tutkimuksessa kuviteltu systeemi on saksalainen yhteiskunta. Se edustaa yhtä eniten kompleksista tuntemistamme systeemeistä ja alasysteemeistä. (Chaisson, 2006). Määrittelen ja tarkastelen Saksaa systeeminä enemmän tutkimuksen analyysiosiossa.

Systeemit voidaan luokitella avoimiksi tai suljetuiksi sen mukaan kulkevatko aine ja energia niiden rajapinnan läpi ympäristöön. Tässä tutkimuksessa kaikkia organisaatiot oletetaan avoimiksi systeemeiksi, jotka vuorovaikuttavat toistensa ja muun ympäristönsä kanssa.

Oleellista tämän tutkimuksen kannalta on ymmärtää avoimien systeemien ja energian välistä yhteyttä. Niin kuin tähdet ja galaksit, myös ihmiset ja kaupungit syntyivät energiaintensiteetin lisääntyessä paikallisesti systeemeissä ja systeemeiksi. Ihmisyhteisöt, kuten kaupungit, vuorovaikuttavat ympäristönsä kanssa käyden jatkuvaa kilpailua ja kamppailua ympäristössä olevista energiavirroista. Energiameielessä systeemit, kuten vaikkapa kaupungit, ovat kuin mustia-aukkoja, jotka imevät itseensä kaiken kykyjensä ulottuvissa olevan energian ympäristöstään. Maaseutu tuottaa ravintoa ja muualta tulleet ihmiset tarjoavat palveluitaan niille, jotka sattuvat olemaan energiapyramidin huipulla, tai mustan aukon keskellä (Christian, 2004). Energian hyödyntämisestä syntyy kuitenkin myös sivuvirtoja, kuten lämpöä ja jätettä, joiden käsittelystä systeemin on tavalla tai toisella huolehdittava. Palataan kuitenkin energiavirtojen hyödyntämiseen tarkemmin seuraavassa alaluvussa.

Tutkimushypoteesini mukaan systeemit ovat riippuvaisia kertaalleen saavuttamastaan hyötyenergian määrästä, joka ylläpitää systeemin kompleksisuuden astetta. Kaikkien sistemien, myös yhteiskuntien ja valtioiden, olemassaolon edellytyksenä on varmistaa maksimaalinen kyky hyödyntää ympäristönsä energiaa kaikissa tilanteissa. Mitä enemmän energiaa systeemi kykenee hyödyntämään, sitä paremmin se pystyy turvaamaan sen tavoittelemia materiaalisia etuja, kuten turvallisuutta, terveyttä ja vaurautta. (Wright & Conca, 2009). Vastaavasti, systeemi tulee sitä riippuvaisemmaksi ulkopuolisesta energiasta, mitä kompleksisempi se on. Systeemin on vaikeaa, tai lähes mahdotonta vähentää kompleksisuuttaan asteittain lyhyellä tähtäimellä. (Chaisson, 2006). Teoreettisena viitekehyksenä käytänkin systeemiteoriaa ja sen johdannaista kompleksisuusteoriaa.

Tässä tutkimuksessa systeemiksi oletetaan siis moderni kansallisvaltio. Siitäkin huolimatta, ettei kansallisvaltio ole välttämättä erikseen määriteltynä systeeminä aukoton kyvyssään kuvata maailmanpoliittista toimijakenttää, on se tutkimukseni kannalta mielekäs yksikkö, sillä voimme arvioida sen päätöksentekoa ja toimintaa sekä selkeästi ilmaistuna ahdonmuodostuksena (politiikka) että tosiasiallisena toimintana (empiirinen mittaus ja tilastointi).

Yksi tapa kuvata energian ja yhteiskunnan välistä suhdetta voisi olla analogia yhteiskunnallisesta järjestäytymisestä. Tyypillisen dikotomian mukaan lain ja järjestyksen puuttuminen merkitsee kaaosta tai anarkiaa. Toisin päin ilmaistuna, lain, järjestyksen ja erikoistumisen ylläpitäminen vaatii paljon ylläpitävää työtä, siis energiaa.

Systeemiajattelu ohjaa myös omaa tutkimustani kohden systemaattisen yhteiskuntatieteen soveltamisalaa. Tämän tutkimuksen teoreettisena viitekehyksenä on kompleksisuusteoria, joka pohjaa vahvasti systeemiin. Palataan tähän teoreettiseen viitekehykseen ja sen aikaisempiin sovellutuksiin hieman tuonnempana. Ensin jatkan tutkimusten fysikaalisten reunaehtojen implikaatiota suhteessa elämän ja sen tiettävästi kompleksisimman muodon eli yhteiskuntien kehitykseen.

Jos systeemi on avoin, merkitsee se sitä, että sen läpi kulkee energiavirtoja. Jos tähden läpi ei virtaa energiaa, se luhistuu. Jos ihminen jättää syömättä 2000-3000 kilokalorin päivittäisen ateriansa, hän menehtyy. Jos kasvit eivät onnistu fotosynteesissä kuljettaakseen energiaa

systeeminsä lävitse, ne kuolevat. Myös kokonaiset yhteiskunnat voivat romahtaa, kuten myöhemmin esimerkein osoitan.

Kaikissa avoimissa systeemeissä energia virtaa sisään ja lämpö virtaa ulos. Systeemin ulkopuolelta on tällöin löydyttävä ylijäämäinen määrä energiaa, jonka systeemi kykenee tavalla tai toisella käyttämään omaksi hyödykseen. Systeemin ulkopuolella vallitseva entropia on jatkuvasti valmiina ottamaan systeemistä vallan ja palauttamaan sen yksinkertaiseen tilaan, jollei se pysty pitämään systeemistä kompleksisuuttaan yllä.

Fysikaalinen kemisti Ilya Prigogine on yksi merkittävistä systeemiteoriaa yhteiskuntatieteisiin soveltaneista henkilöistä. Hän antaa oman määritelmänsä teksteissään kehitykselle ("progression"). Kehitystä tapahtuu hänen mukaansa silloin kun systeemiin virtaa syystä tai toisesta aiempaa enemmän energiaa. Prigoginen mukaan lisäenergia voi joko tuhota systeemin, tai systeemi voi hyödyntää uutta kasvanutta energiatihyden tasoaan lisäämällä omaa kompleksisuuttaan ja saavuttamalla uuden tason järjestyksessään. (Prigogine, 2014) Prigoginen teoria on ollut keskeisesti läsnä esimerkiksi maailmansysteemianalyysistään tunnetun sosiologi Immanuel Wallersteinin ajattelussa.

Astrofyysikko Eric Chaisson auttaa myös antamaan tarkemman määritelmän systeemin kompleksisuuden ja energian väliselle suhteelle. Toteamus "mitä enemmän energiaa, sitä kompleksisempi systeemi" on hänen mukaansa riittämätön. On ilmiselvää, että galaksissa on absoluuttisessa mielessä enemmän energiaa kuin voikukassa, vaikka jälkimmäinen onkin huomattavasti ensimmäistä systeemiä kompleksisempi. Niinpä Chaisson puhuu energiavirroista (energy flows) ja energiatihyden suhteesta (energy density rate). Se on mittayksikkö, joka kuvaa käytettävissä olevaa energian määrää, joka riittää tekemään työtä tai potentiaalisesti aiheuttamaan muutoksen, virratessaan systeemin lävitse.

Energian hyödyntämiseen liittyy erilaisia lämpöopin mukaisia reunaehtoja ja näkökulmia. Yksi keskeisimmistä tarpeista todellisuuden ymmärtämiseksi on löytää keinot arvioida energiavirtojen hyödyntämisen edellytyksiä siten kuin Chaisson määrittelee. Palaan Chaissonin määritelmiin myöhemmin käydessäni läpi kompleksisuusteoreettisesta viitekehystä. Tässä vaiheessa todettakoon kuitenkin, että erityisesti kaksi seikkaa vaikuttavat siihen, miten systeemi pystyy lisäämään omaa hyötyenergiansa käyttöä ja energiatihydensä määrää. Ensimmäinen

niistä on EROIE ja toinen energiatehokkuus. Puhuessamme tutkimuksessa ihmisyyhteisöstä, voimme tiivistäen todeta, että edellytykset edistysaskeleiksi näiden kahden osalta liittyvät teknologiseen kehitykseen ja sosiaalisiin innovaatioihin.

## EROIE

Energiantuotannon näkökulmasta oleellista on prosessin lopputuloksena syntyvä energiaylijäämä. Tätä hyötysuhdetta kuvataan usein käsitteen EROIE (Energy returned on invested energy) (Suokko & Partanen, 2017, s. 77). Oleellista on siis, kuinka paljon työtä (energiaa) kuluu, jotta saadaan aikaiseksi hyödynnettäväksi soveltuva ylimääräinen energiayksikkö. EROIE kuvaa tätä hyötysuhdetta parhaiten, vaikka sen mittaaminen onkin hyvin vaikeaa. Jotta EROIE:sta saataisiin kussakin tapauksessa mahdollisimman todenmukainen arvo, olisi tiedettävä kaikki kerrannaisvaikutukset, alihankintaketjut ja muut energiantuotantoon liittyvät taustavaikuttimet ja -toiminnot. EROIE-arvoja on kuitenkin tutkittu jonkin verran niin primäärienergiaraaka-aineiden kuin voimantuotannon piirissä. Tässä tutkimuksessa hyödynnän parhaita saatavilla olevia arvoja. Ne auttavat joka tapauksessa ymmärtämään suuruusluokkia ja mittasuhteita, jotka riittävät tuomaan tarpeeksi tietoa tutkimushypoteesin koettelemiseksi. EROIE on tärkeä työkalu, jota hyödynnän tutkimukseni analyysiosiossa ja johtopäätöksissä arvioidessani Energiewenden vaikutuksia saksalaisen yhteiskunnan kokonaishyötyenergian määrään ja sen suhteeseen talouden ja hyvinvoinnin kasvussa.

Geneettisesti lähimmän elossa olevan nisäkässukulaistemme simpanssin energian kulutus on luokkaa 1600 kilokaloria päivässä, siis noin 20% pienempi kuin aikuisen ihmisen keskimäärin. Tämän energiatarpeensa tyydyttämiseksi simpanssille ei jää elämässään aikaa juuri mihinkään muuhun kuin ruuan hankkimiseen ja prosessointiin sekä turvallisuutensa varmistamiseen. Käytännössä simpanssit käyttävät suurimman osan vuorokaudesta ruokailemiseen. Evoluution myötä lajille on kehittynyt erilaisia kognitiivisia ja fyysisiä ominaisuuksia, jotka auttavat sitä haalimaan jokapäiväisen energiatarpeensa osana verrattain kompleksista sosiaalista järjestelmää.

Jos simpanssi haluaisi kehittää itseään tai elämän sisältöään tulisi sen saavuttaa tavalla tai toisella läpimurto tavassaan haalia ja hyödyntää ympäristönsä energiavirtoja omaan

käyttöön. Kuvitellaan, että eräs muutoshaluinen simpanssi haluaisi ryhtyä tähän hankkeeseen. Hänen näkökulmastaan oleelliseksi tulee se millaisen tuoton hän saa investoimalleen energialle. Kannattaako lähteä suuremman saaliin perään, jos riski jäädä kokonaan ilman energiaa on suurempi kuin helposti saatavilla olevien termiittien ja hedelmien napostelemisella kotireviirillä? Simpanssin on siis laskettava tekojensa EROIE tarkasti. Voi olla, että simpanssin riski kannattaa ja hän onnistuu perustamaan uuden, entistä vaikutusvaltaisemman ja paremmin voivan lauman. Se perustuu Eric Chaissonin mukaan lähtötasoa suuremmalle energiasaantitasolle. Kyetäkseen hankkimaan riittävän ravinnon kasvaneelle ja aiempaa kompleksisemmalle laumalleen, on simpanssi tullut riippuvaiseksi tästä uudesta energiasaantitasostaan.

Homo sapiensin historiaan kuuluu eri asteisia läpimurtoja, jossa EROIE on onnistuttu kasvattamaan hetkellisesti tai pysyvästi lähtötilannetta suuremmaksi. Tämä on mahdollistanut kompleksisuuden kasvattamisen esimerkiksi populaation kasvamisena tai työn erikoistumisen muodossa. Historia osoittaa myös esimerkkejä, jossa EROIE:n kasvu ei ole ollut pysyvää. Hetkellinen energiaylijäämä on johtanut systeemin kompleksisuuden kasvuun, mutta saattanut romahtaa, jos energiavirtojen hyödyntäminen ei olekaan perustunut kestäväälle tavalle ja yhteisöt olleet kyvyttömiä korvaamaan energiansaantiaan uusilla keinoilla.

EROIE:n merkitystä moderneille yhteiskunnille ovat arvioineet tutkimuksessaan Fizaine ja Court. He arvioivat, että jälkiteollistunut yhteiskunta ei voisi toimia ilman energiatuotantoa, jonka EROIE on suhdelukua 7-15 alempi. Esimerkiksi Yhdysvaltain minimi EROIE-luvuksi he arvioivat 11. (Fizaine & Court, 2016) Toisin sanoen, Fizaine ja Court väittävät, että jos Yhdysvaltojen EROIE päättyisi 11 alemmalle tasolle, ei Yhdysvaltoja niiltä keskeisiltä osin kuin sen nykyään sosiaalisena, kulttuurisena, teknologisena tai taloudellisena systeeminä voisi olla olemassa.

Partanen & Suokko auttavat ymmärtämään tämän suhdeluvun merkitystä soveltamalla sitä alkutuotannosta perinteisimpään eli ruuantuotantoon. Moderni yhteiskunta ei voisi toimia, jos yksi henkilötyöpanos ei tuottaisi vähintään 7-15 energian lisäyksikköä. Silloin useampi yhteiskunnan jäsen joutuisi pakosti käyttämään aikaansa alkutuotannon parissa. Tällöin yhä harvempi voisi käyttää aikaansa tieteen, kulttuurin tai muun tuotannon piirissä. Yhteiskunnan erikoistumisen eli kompleksisuuden aste siis laskisi, ja kerrannaisvaikutusten myötä jopa

romahtaisi. (Suokko & Partanen, 2017, s. 88) Avaan muutamia tällaisista ihmisyyhteisöjen kohtaamista romahduksista kertovia esimerkkejä tuonnempana lisää.

## ENERGIA TEHO KUUS

Toinen keino lisätä hyödynnettävissä olevaa energian määrää systeemissä liittyy energiatehokkuuteen. Samasta primäärienergianlähteestä voidaan saada irti enemmän hyötyenergiaa, jos löytyy keinoja joko tehostaa energian tuotantoprosessiin tai sen kulutukseen liittyviä keinoja.

Tosielämän esimerkki auttaa ymmärtämään energiatehokkuuden olemusta ja sen suhdetta hyötyenergian kulutukseen. Oletetaan, että autokorjaamon suuri energiantarve liittyy nosturiin, jolla autoja nostetaan ja lasketaan huoltoja varten. Hissikompressorin energiantarve saadaan sähköstä, joka tuotetaan kivihiilivoimalassa kymmenen kilometrin päässä.

Kivihiilivoimala tuottaa sähköä polttamalla kivihiiltä. Kivihiilen sisältämästä primäärienergiasta 30% saadaan muutettua sähköksi, muu osa siitä muuttuu lämmöksi. Verkkoyhtiön vanhat siirtoyhteydet kadottavat 30% voimasta matkalla ja niinpä autokorjaamon kompressoriin ehtiessään primäärienergiasta, joka on peräisin kivihiilestä, on tallella enää 21%. Kompressori ei myöskään onnistuu muuntamaan sähkövoimaa kineettiseksi energiaksi ilman hävikkiä, joka on peräti 50%. Auton nostaminen saadaan aikaan vaivaisella 10,5% hyötysuhteella alkuperäisen polttoaineen primäärienergiasta. Kaikki loppu on muuttunut matkan varrella lämmöksi.

Koko tuotantoketjussa aletaan kuitenkin käyttää teknologiaa ja ideoita hyödyksi paremman hyötysuhteen ja alhaisempien kustannusten toivossa. Kivihiilivoimalassa hyötysuhde paranee 20%, uudet verkkoyhteydet pienentävät hävikkinsä 20 %:iin ja uusi kompura säästää sähköä 20%. Kaiken lisäksi työnjohdon ehdotuksesta autojen nostojen ja laskujen rytmitystä järkevöitetään niin, että autot saadaan korjattua 20% vähemmällä nostokerroilla. Näillä toimilla kivihiilen primäärienergiasta saadaan loppukäyttöä varten hyötyenergiaa kaksi kertaa enemmän kuin aikaisemmin. Tärkeää on huomata, että vaikka primäärienergian tarve puolittuu, ei systeemin käyttämä hyötyenergia pienene lainkaan.

## MITÄ TEKNOLOGIA OIKEASTAAN ON?

Perinteisen ajattelutavan mukaan teknologialla tarkoitetaan ideoita, joita tavaroiden ja palveluiden tuottamiseen kuluttajien tai loppukäyttäjien tarpeiden tyydyttämiseksi tarvitaan. (Ollikainen & Pohjola, 2013) Määritelmä on sinällään pätevä, mutta totuuden soveltamisen kannalta riittämätön, koska se ei ota mitenkään huomioon energialähteitä tai niiden hyödyntämistä. Se ikään kuin olettaa, että uusia tavaroita ja palveluita voitaisiin synnyttää myös ilman energiaa ja materiaaleja puhtaasti ideoiden ja tiedon varassa ottamatta lainkaan kantaan energian rooliin yhtälössä.

Tässä suhteessa paremman määritelmän teknologialle antavat Suokko ja Partanen kirjassaan *Energian aika*. Heidän mukaansa ”vaikuttaa siltä, että teknologia ja ideat ovat suurelta osin keinoja, joilla valjastaa ulkoinen energia tekemään kokonaan uudentyyppisiä asioita ja toisaalta vanhoja asioista entistä tehokkaammin, nopeammin, paremmin tai uusia materiaaleja käyttäen” (Suokko & Partanen, 2017).

Itse täydentäisin Suokon ja Partasen määritelmää vielä sosiaalisten innovaatioiden osalta. Esimerkiksi erilaiset normit, uskomusjärjestelmät, yhteiskuntajärjestelmät tai vaikka työpaikkojen säännöt ovat niin ikään olleet keinoja valjastaa uutta energiaa käyttöön tai saada aikaan asiat aiempaa tehokkaammin. Saman voi ajatella liittyvän peräti myös taiteeseen, joka onnistuu viestittämään ja mobilisoimaan monimutkaisia intuitiota, tunteita, symboliikkaa tai abstrakteja ajatuksia tavalla, joka järjestää lopulta energiaa ja materiaaleja uudella tavalla.

Teknologialle ja sen kehittymiselle on ollut vaikeaa löytää mittayksiköitä. Hyötyenergian ottaminen mukaan yhdeksi teknologisen kehityksen tuotannontekijäksi on osoittautunut paremmaksi keinoksi kuin primäärienergian mittaaminen ja soveltaminen. (Warr & Ayres, *Useful Work and Information as Drivers of Growth*, 2012). Myös tässä tutkimuksessa oleellista on puhua systeemien kompleksisuudesta suhteessa niiden käytössä olevaan hyötyenergiaan.

## b) ELÄMÄN ELI ENTROPIAN KEHITYS

*Fyysinen on olemukseltaan entrooppinen, luovuttaen energiaa epäjärjestäytynein tavoin. Metafyysinen on antientrooppista, menetelmällisesti energiaa järjestävänä. Elämä on antientrooppista.*

*Richard Buckminster Fuller*

Systeemiteoreetikkona ja monipuolisena yleisnerona tunnettu Richard Buckminster Fuller antaa sitaatissaan määritelmän elämälle. Elävillä systeemeillä on erityinen ominaisuus hyödyntää ympäristönsä energiaa käyttäen sen omiin sisäisiin prosesseihinsa, joilla on tietty järjestys ja päämäärä. Jos organismin tai muun elävän systeemin kyky saada energiaa käyttöönsä kärsii, myös entropia sen sisällä kasvaa. Energia ja materia vapautuvat todennäköisesti kaikilla muilla tavoin kuin järjestäytyneesti. Käytännössä tämä merkitsee esimerkiksi elintoimintojen lakkautumista.

Entropian konsepti on johdettu termodynamiikan opeista. Entropialla tarkoitetaan epäjärjestyksen astetta systeemin sisällä. Entropiaa vallitsee kaikissa systeemeissä, niin elävissä kuin elottomissa, jotka hyödyntävät työstettäväkseen vapaata energiaa ympäristöstään. Kun systeemin sisäinen energia pienenee, entropia lisääntyy.

Entropian ja tutkimuksen kohteena olevan saksalaisen yhteiskunnan välisen suhteen merkityksen voi tiivistäen todeta seuraavasti: saksalaisen yhteiskunnan tehtävä on viime kädessä käydä jatkuvaa kamppailua entropiaa vastaan. Jos se tämän kamppailun häviää, katoaa sen edellytykset toimia toimivana systeeminä kokonaan ja todennäköisesti pysyvästi. Samalla voidaan todeta, että Saksassa, kuten monessa muussa jälkiteollisessa yhteiskunnassa, on vahva poliittinen sitoutuminen talouden ja hyvinvoinnin kasvuun johtanut siihen, ettei yhteiskunnan pyrkimyksenä ole pelkästään tyydyttää nykyistä hyötyenergian tarvettaan, vaan itse asiassa jatkuvasti ja pysyvästi kasvattaa sitä. Tarkastelen tähän dynamiikkaan liittyviä haasteita myöhemmin tutkimuksen analyysiosiossa.

Tulen esittelemään termodynamiikan, entropian ja biologisen evoluution välisiä suhteita sekä ihmiskunnan erityislaatuista kykyä hyödyntää energiavirtoja käyttöönsä. Tärkeää tässä ihmisen



ja energian välisessä suhteessa on ollut erilaisten teknologioiden soveltaminen uusien energialähteiden valjastamiseen ja niiden energiatehokkuuden parantamiseen.

Tulen tutkimuksessani osoittamaan, kuinka merkittäväällä tavalla fossiilisten polttoaineiden hyödyntäminen viimeisten 200 vuoden aikana on lisännyt yhteiskuntien kompleksisuutta. Niiden intresseissä, tai edes mahdollisuuksien ulottuvuuksissa, ei ole vähentää systeemin ulkopuolisten energiavirtojen hyödyntämistä omaksi hyötyenergiakseen. Siksi niiden kyky sopeutua tavoiteltuun energiatransformaatioon voi olla heikko ja vaihteleva, erityisesti jos se merkitsee hetkellistä tai pidempi kestoista hyötyenergian määrän vähenemistä eli EROIE:n pienemistä.

Tätä kykyä määrittää niiden kyky kommunikoida ja koordinoita toimiaan – eli järjestää systeemin energiaa riittävälle tasolle pitääkseen entropian loitolla. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan ole tarkoitus tarkastella sitä mikä yhteiskunta tässä onnistuu parhaiten, vaan tunnistaa niitä haasteita ja puutteita, joita päätöksenteossa energiapolitiikan osalta valitussa tapausesimerkissä eli Saksan osalta on.

Systeemi- ja kompleksisuusteorian mukaisesti siis entropian määrää voidaan pienentää vain turvaamalla hyötyenergian saanti kaikissa hetkissä. Miten yhteiskunnat voisivat sitten vähentää energiankulutustaan saavuttaakseen tavoitteensa yli ajan tilanteessa jossa nykyiseen energiatuotanto ja energiamuodot ovat kriisissä? Miten tähän haasteeseen vastataan Saksan valitsemassa energiastategiassa? Sitä pyrin tutkimuksen analyysiosassa selittämään ja arvioimaan tarkastelemalla Saksassa poliittisen prosessin kautta syntynyttä energiapoliittista strategiaa.

## i) KOMPLEKSISUUS

*"Ihmiset näyttävät tosiaan kuuluvan osaksi universumia jakaen sen epästabiilin, jatkuvasti muutoksessa olevan luonteen... Se mitä tapahtuu ihmisten keskuudessa ja mitä tapahtuu tähtien keskuudessa näyttää olevan osa suurta, muuttuvaa tarinaa, jota muokkaa spontaani kompleksisuuden lisääntyminen, joka synnyttää uudenlaista käyttäytymistä kaikilla organisaation asteilla kvarkeista ja leptoneista galakseihin, hiiliyhdisteistä eläviin organismeihin ja biosfääriin, ja biosfääristä symbolien universumiin, jossa ihmiset elävät ja*

*työskentelevät, yhdessä ja erikseen, pyrkien aina vain luomaan enemmän sitä mitä kulloinkin tarvitsemme ja haluamme maailmasta ympärillämme.*

William McNeill

Katkelma teoksesta "Maps of Time" (Christian, 2004)

Termodynamiikan lait ja entropia auttavat ymmärtämään systeemien suhdetta energiaan ja keinoihin, joilla se voi sitä hyödyntää. Vielä on tarpeen selventää, miten energia liittyy systeemin kompleksisuuteen. Sosiaalitieteiden kannalta ei ole kiinnostavaa tutkia elottomia systeemejä, kuten tähtiä tai ilman elämää olevia aurinkokuntia. Siksi tässä tutkimuksessa keskitytään eloperäisten systeemeihin ja niiden energiasuhteisiin. Jotta yhteiskuntasuhteita tai järjestäytyneitä moderneja valtioita voidaan paremmin ymmärtää, on ymmärrettävä koko maapallolla syntyneen elämän peruslogiikka ja olemus.

Elämän syntymisen, kehittymisen ja ylläpitämisen kannalta energia, yhtä lailla kuin materiakin, ovat välttämättömiä. Sekä energia että materia saivat nykyänsityksen mukaan alkunsa alkuräjähdykseksi kutsutussa tapahtumassa, jossa nykyisen universumin olemus alkoi levitä avaruuteen. Tiettyjen vaiheiden jälkeen energia ja materia erkaantuivat erilleen muodostaen tunnetun maailmankaikkeuden aiemmin kuvatun termodynamiikan sekä Newtonin lakien mukaisella tavalla. Viime kädessä kaiken energian taustalla oleva voima on gravitaatio. Se saa kaikki massalliset kappaleet vetämään toisiaan puoleensa riippuen niiden massasta ja etäisyydestä. Tästä voimasta, n. 4,3 miljardia vuotta alkuräjähdyksen jälkeen, myös oma aurinkokuntamme sai alkunsa. Se koostuu auringoksi kutsumastamme tähdestä, jota ympäröi eri suuruisia kiertoradoillaan kiertäviä planeettoja.

Elämä maapallolla syntyi tarpeellisten olosuhteiden vallitessa. Oleellista on ymmärtää elollisen ja elottoman systeemin väliset eroavaisuudet suhteessa niiden kykyyn hyödyntää ympäristönsä energiavirtoja. Eric Chaissonin mukaan systeemien vapaan energian tiheyksiä voidaan vertailla keskenään. Vapaalla energialla tarkoitetaan ympäristön energiaa. Vertailuluku yksi voidaan antaa galakseille. Kasvien vertailuluku on tällöin 75 ja ihmisyhteiskuntien 500,000 (Chaisson, 2006)

Entropia perustuu todennäköisyyksiin. Kun energia ja materia vapautuvat on huomattavasti todennäköisempää, että ne järjestäytyvät jollain muulla tavalla kuin "systemaattisesti". Käytännössä tämä merkitsee esimerkiksi elintoimintojen lakkautumista elävässä avoimessa systeemissä. Systeemi pyrkii siis kaikissa tilanteissa säilyttämään energiataseensa nettopositiivisena. Tilanteessa, jossa se kykenee hyödyntämään ympäristöstään ylijäämäisen määrän energiaa, voi systeemi käyttää sen johonkin muuhun kuin normaalien elintoimintojensa ylläpitämiseen: kasvuun, liikkumiseen tai vaikkapa puolustautumiseen. Ylijäämäisen energian systeemi voi käyttää kompleksisuuden asteen nostamiseen (Chaisson, 2006).

Systeemi, olipa se bakteeri tai moderni valtio, kykenee saavuttamaan tavoitteitaan sitä paremmin mitä suuremman määrän vapaata energiaa se kykenee ympäristöstään hyödyntämään. (Chaisson, 2006) Vapaan energian tiheyden kasvaessa systeemin sisällä, myös sen kompleksisuus kasvaa. On toki mainittava, ettei kompleksisuuden kasvu tai edes kehitys sinällään ole aina systeemin tiedostamia prosesseja.

Kompleksisuus merkitsee eri alasysteemien ja toimintojen eriytymistä ja erikoistumista. Suuret nisäkkään ovat kompleksisempia kuin yksivuotiset kasvit ja kompleksisin tuntemamme systeemi on yhteiskunta (Christian, 2004).

Energian ja kompleksisuuden välisessä suhteessa ratkaisevaa on myös huomioida riippuvuussuhde toiseen suuntaan. Korkean kompleksisuuden asteen omaksuttuaan, tulee systeemi riippuvaiseksi nauttimistaan aiempaa suuremmista energiavirroista. Kantamuotoaan kompleksisempi solu ei voi palata aiempaan alempaan kompleksisuuden asteeseen vaan hävitessään kamppailunsa entropiaa vastaan, romahtaa se kokonaan. Biologisessa evoluutiossa tämän prosessin yksi ilmentymä on lajien kohtaama sukupuutto.

Näiden tutkimuksen fysikaalisten reunaehtojen luetteleminen on oleellista, jotta lähtökohdat tutkimusongelman ratkaisemiseen säilyvät avoimina. Monitieteellinen tutkimusote saa tukea erityisesti kaikkeudenhistorian oppisuuntauksesta, joka tarjoaa lämpöopin mukaisen narratiivin kompleksisuuden vaiheittaiselle kasvulle tuntemassamme universumissa.

## ii) KAIKKEUDEN HISTORIA

Tutkimuksessani hyödynnän teoreettisena pohja-aineistona historian tutkimuksen oppisuuntausta nimeltään kaikkeudenhistoria (Big History). Se on 1980-luvulta alkaen kehittynyt monitieteinen ala, joka tutkii kaikkeuden eli kosmoksen historiaa laajimmalla mahdollisella avaruus- ja aikaulottuvuudella. Näin ollen se pyrkii kuvaamaan historiaa alkuräjähdyksestä nykyhetkeen, käsittäen tutkimuksen kohteekseen kaiken materian ja energian aina alkeishiukkasista universumiin saakka. Kaikkeudenhistoria pyrkii asettamaan tämän jatkumon erilaisiin aikasegmentteihin. Lisäksi kaikkeuden historia pyrkii hyödyntämään kaikkea narratiivin kannalta relevanttia tutkittua tietoa eri aloilta.

Tutkimukseni kannalta kiinnostavinta on kaikkeudenhistorian onnistunut tapa kuvata kompleksisuuden lisääntymistä kosmisen evoluution edetessä. Tässä suhteessa erityisesti David Christian ja Eric Chaissonin tutkimukset muodostavat kiinnostava teoreettisen taustanarratiivin ja kontekstin tutkimukselle.

Kosmisen evoluutioprosessin tendenssi on ollut kompleksisuuden lisääntyminen. Evoluution ei voida sanoa kehittyneen tästä premissistä, mutta sen suunta on kuitenkin ollut yhä kompleksisempaa kohden. Kyse on jälleen matemaattisesta todennäköisyydestä. Sattuman kautta edenneessä prosessissa kompleksisemmat systeemit ovat pärjänneet vähemmän kompleksisempia paremmin. (Chaisson, 2006)

Syy miksi evoluutio suosii kompleksisempia systeemejä, tulee ymmärretyksi energiavirtoihin liittyvän adaptaatiokyvyn kautta. (Christian, 2004) Luonnossa, kuten kosmoksessa ylipäänsä, tapahtuu jatkuvaa jakoa ”häviäjiin” ja ”voittajiin”. Joidenkin arvioiden mukaan peräti 99% kaikista olemassa olleista lajeista on kuollut biologian historian aikana sukupuuttoon. Sama logiikka pätee myös enemmän kompleksisiin systeemeihin kuten kulttuureihin ja ihmisyhteisöihin. Myös niiden kohdalla on tapahtunut ”sukupuuttoja”.

Tätä muutosta voidaan kuvata adaptaation kautta. Fysikaaliset systeemit reagoivat energian muutoksiin ja biologiset systeemit reagoivat luonnossa tapahtuneissa muutoksiin. Luonnonvalinnaksi kutsutaan prosessia, jossa ne systeemit jotka toimivat hyvin, eli hallitsevat optimaalista energiamäärää, selviytyvät. Ne jotka eivät tähän yhtä tehokkaasti kykene, katoavat.

Kompleksisuuden lisääntyminen on edennyt kosmisessa historiassa sekä elottomissa että elollisissa systeemeissä. Kaikkeudenhistoria jakottelee kosmisen historian eri ajanjaksojen kautta. Ne kaikki etenevät kohti yhä kompleksisempia systeemejä huipentuen maailmankaikkeuden tiettävästi kompleksimpaan systeemiin, joka on ihmiskunta.

Eric Chaissonin kuvaus kosmisesta evoluutiosta yltää logaritmisena alkuräjähdyksestä nykyaikaan painottaen ihmisen ja elämän historiaa. Chaisson jakaa universumin historian kuuteen aikakauteen: partikkeli-, galaktiseen-, planetaariseen-, kemialliseen-, biologiseen ja kulttuuriseen aikakauteen. Chaissonin mukaan parhaan mahdollisen tiedon valossa vaikuttaa siltä, että monimutkaisuuden määrä maailmankaikkeudessa on lisääntynyt logaritmisella asteikoilla sen koko 14 miljardisen historian aikana.

Samalla systeemit ovat kuitenkin tulleet myös hyvin riippuvaisiksi ja haavoittuviksi tarvitsemistaan energiavirroista. Maapallolla onkin nähty useita suuria sukupuuttoaaltoja, jotka kaikki ovat johtuneet ulkoisen shokin aiheuttamasta energia- ja ainevirtojen muutoksista. Populaatioiden suuruus romahtaa tyypillisesti muutoinkin kuin sukupuuton kohdatessa. Tämä tapahtuu silloin kun populaation määrä kasvaa niin suureksi, että se kompleksisten vuorovaikutussuhteiden johdosta aiheuttaa ekosysteemin itselaukaisumekanismen resurssien ylikäytön seurauksena (Christian, 2004, s. 134).

Kompleksisin tuntemamme systeemi on moderni yhteiskunta. (Simmons, 1996, s. 27) Ihmisen energiankulutus on lisääntynyt lajin yli 100 000 vuotisen historian aikana asteittain. Suurin yksittäinen työkalu, joka energiavirtojen hyödyntämisen on mahdollistanut, on ihmisen kyky kommunikoida tehokkaasti. Puhekyvyn kehittymisen myötä ihmisen kyky jakaa informaatiota erilaisten symbolien välityksellä on kehittynyt oleellisesti. Palaan energian ja ihmiskunnan historian väliseen suhteeseen myöhemmin analyysiosiossa.

### iii) IHMINEN JA ENERGIA

*“Human history can be told in terms of the history of energy.”*

Cutler J. Cleveland ("Editor's Preface," in Concise Encyclopedia of the History of Energy, 2009)

Keskiverto kivikautislaisella oli arjessaan käytössään noin 4000 kilokalorin päivittäinen energiamäärä. Se ei sisältänyt pelkästään ruokaa vaan siitä oli riitettävä myös työkalujen valmistukseen ja huoltoon, vaatetukseen sekä suojaan ja turvallisen elinympäristön varmistamiseen. Lienee ollut harvinaista, että energiaa olisi näiden perustarpeiden jälkeen riittänyt myös kalliomaalaustaiteen harjoittamiseen.

Tänä päivänä keskiverto saksalainen käyttää päivittäin lähes 230 000 kilokaloria - siis kuusikymmenkertaisen määrän esi-isäänsä verrattuna. Metsästäjäkeräilijän energiankulutus koostui 60% suorasta ravinnosta ja 40% kodin ja ruuan lämmityksestä. Vaikka nykyihmisen ravintoon kuluttaman energian määrä on peräti kolme kertaa suurempi (kun mukaan lasketaan kotieläinten ruokinta), on sen osuus kokonaisenergiasta silti alle 5%. Nykysaksalainen "ruokkii" itsensä lisäksi myös autonsa, tietokoneensa, jääkaappinsa ja televisionsa (Morris I. , 2010, s. 629). Kotitalouksien, tuotantolaitosten ja liikenteen käyttämä energia on valtaisa verrattuna aiempiin elämänmuotoihin. Tämä perustarpeet ylittävä energiamäärä on investoitu saksalaisessa nyky-yhteiskunnassa valtaisaan kompleksisuuden asteen kohottamiseen, kuten myöhemmin tutkimuksessa tarkemmin esitän.

Nykyihmisen riippuvuussuhde kompleksista energiavirroista on niinkin merkittävä, ettei edes ravinnonhankinta kuulu jokapäiväisiin rutiineihin. Siksi myös riippuvuus energiavirtojen katkeamattomuudesta on korkea. Kompleksisen systeemin toleranssi äkilliselle energiavirtojen katkeamiselle on silti suuri, toisin kuin hyvin yksinkertaisille (Christian, 2004).

Homo sapiensin evoluutio voi auttaa meitä myös ymmärtämään kompleksisuusteorian ja entropian merkitystä tutkimushypoteesin valossa. Kun nykyarvioiden mukaan 300 000 vuotta sitten homo sapiens alkoi lajina erkaantua sen kantalajista homo erectuksesta, otti se systeemimielellä kohtalokkaan harppauksen omille teilleen.

Lyhyesti voidaan todeta, että ihmisen kyky hyödyntää ympäristönsä energiavirtoja on kehittynyt lineaarisesti populaation ja levinneisyyden kasvaessa ja harppauksittain muutamien innovaatioiden seurauksena. Tärkeimmät innovaatiot ovat olleet tulen hallitsemisen taito,

kielen ja kirjoituksen kehittäminen, maanviljelys ja kaupungit, purjehtiminen, kantojuhtien kesyttäminen ja niin kutsuttuun energiavallankumoukseen johtanut fossiilisten polttoaineiden hyödyntäminen sekä atomienergia. (McNeill & McNeill, 2005)

Energian käytön turvaamisella on aina taloudellisen aspektin lisäksi myös poliittiset aspektinsa. Energian rooli kansainvälisen politiikan ja kansainvälisten suhteiden keskeisenä intressinä on tutkittu yhteiskunta- ja politiikkatieteissä ja pitkään. (Morris I., 2010) (Shaffer) (Easton, The Political System: An Inquiry into the State of Political Science, 1953)

## ENERGIAHARPPAUKSET IHMISEN HISTORIASSA

### 1. Tuli

Homo erectuksen taito käyttää tulta ruuan kypsentämiseen on tiettävästi niinkin pitkältä ajalta kuin 500 000 vuoden takaa. Se mahdollisti lajille kyvyn hyödyntää systeemin ulkopuolisia energiavirtoja ylijäämäisesti. Tämä mahdollista muun muassa suurempien aivojen kasvattamisen. Homo sapiensin aivot painavat 1,3 -1,5 kg ja sisältävät enemmän neuroneita kuin minkään muun lajin aivot. Ne ovat myös täysin riippuvaisia jatkuvasti verenkierron kuljettamasta energiasta ja tarvitsevat energiaa niin levossa kuin aktiivisessa käytössä. Jos ne eivät saa energiakseen tarvitsemaa glukoosia, voivat ne käyttää poikkeuksellisesti energianaan myös maitohappoa. Joka tapauksessa ne ovat täydellisen riippuvaisia jatkuvasta energiasaannista.

Oleellista tässä evoluutiossa on sen kohtalokkuus. Homo sapiensilla ei ole syntymänsä jälkeen mahdollisuutta palata homo erectuksen energiakulutuksen tasoon vaan se joko selviytyy tai menehtyy homo sapiensina. Lähes 290 000 vuotta homo sapiensilla kuluikin muiden eläinlajien tavoin enemmän tai vähemmän jatkuvan nälkäkuoleman partaalla, kunnes se otti kolmannen merkittävän energialoikkansa maanviljelykseen siirtyessään.

## 2. PUHE, KIELI JA INFORMAATIO

Tarinoissa ja pyhissä teksteissä esitetyt todisteet faraon jumalallisesta roolista ja faraon edelleen kansalaisilleen välittämät käskyt ryhtyä rakentamaan useiden vuosisatojen pituisella ajanjaksolla muureja, kanavia, patoja ja pyramideja, saivat aikaan ympäristön, jollaista ei oltu koskaan aiemmin ihmiskunnan historiassa nähty. Symboleista ja kielestä koottu informaatio oli niin tarkasti jaettu, että sen avulla kyettiin koordinoimaan uskomattomiin mittasuhteisiin yltänyt energian – ja materiaalinvirtojen uudelleenjärjestely. (Harari, 2016)

Erityisesti puhetaidon kehittäminen on ollut avainasemassa yhteiskuntien kehittäessä yhä tehokkaampia keinoja energiavirtojen hyödyntämiseksi. Tehokas informaation jakaminen ja kommunikaatio ovat myös avainasemassa nyt kun energiantuotantoa on välttämätöntä muuttaa.

Esimerkiksi informaatiofilosofian piirissä kuitenkin kiistetään, että informaatio olisi yhtä kuin energia. Chaisson välyttää, että kompleksisuutta voitaisiin periaatteessa myös mitata informaatiotiheyden asteella siinä missä hän tekee sen energiatiheyttä käyttämällä. Chaissonin on kuitenkin lopulta haluton hyväksymään informaatiota universumin perusainesten joukkoon viitaten sen vaikeaan kvantifioimiseen ja erityiseen vaikeuteen käsitellä merkityksellistä tietoa. Chaissonin mukaan informaatio liittyy kuitenkin olemukseltaan energiaan.

Tämä on erityisen merkityksellistä yrittäessämme ymmärtää monimutkaisia sosiaalisia rakenteita, joissa kommunikaation merkitys eri muodoissaan on avainasemassa aineen ja energian järjestämisessä. Kielen kehittyminen työkaluksi puheen ja myöhemmin kirjoituksen muodossa on auttanut ihmistä muokkaamaan ympäristöään ja materialisoimaan myös abstraktioita. Informaatioteknologian aikana tiedon käsittely binaarijärjestelmän ja telekommunikaation avulla on avannut jälleen uusia mahdollisuuksia tiedon entistä nopeampaan ja eksaktimpaan jakamiseen. Informaation ja kommunikaation merkitys myös saksalaisen yhteiskunnan kyvykkyydessä vastata tutkimustilanteen perusongelmaan, on aivan oleellinen.



Voisikin sanoa, että luonnontieteiden ja ihmistieteiden välinen rajavyöhyke kulkee kommunikaation ja kemiallisten reaktioiden välillä. Tai perinteisemmin ilmaistuna kulttuurin ja biologian.

Systeemiteorian näkökulmasta informaation merkitystä on arvioinut mm. James Grier Miller. Hänen mukaansa informaatio viittaa vapauden määrään, joita on olemassa valinnan hetkillä signaaleissa, symboleissa, viesteissä ja kaavoissa. Mitä suurempi vapaus systeemillä on tulkita informaatiota, sitä todennäköisemmin se epäonnistuu tulkitsemaan sen viestijän kannalta oikein. (Miller, 1978) Millerin näkemys perustuu siis hyvin pitkälle lämpöopin ja entropian reunaehdoille.

Kommunikaation avulla systeemit voivat siis hallita kompleksisuutta ja energiavirtoja (Luhmann). Ihmisen kannalta tämä on merkinnyt esimerkiksi kykyä järjestäytyä ensin tiiviiksi perheiksi, sitten suuremmiksi ja suuremmiksi yhteisöiksi: kyliksi, kaupungeiksi ja valtioiksi (Christian, 2004, s. 141). Ihmisen kyky kommunikoida tarkasti on mahdollistanut kompleksisten asioiden tulkitsemisen yhteisesti ymmärrettävällä tavalla. Tämä on mahdollistanut abstraktien suunnitelmien laatimisen ja niiden toteuttamisen toiminnan keinoin. Tätä kykyä tarkastelen tarkemmin analyysiosiossa pyrkiessäni arvioimaan tutkimuksen kohteena saksalaisen yhteiskunnan kykyä ratkaista uhkaava, monimutkainen ja yli ajan yltävä energiakriisi.

Kyky kommunikoida tehokkaasti on paitsi mahdollistanut yhteiskuntien perustamisen ja yhteisten tavoitteiden saavuttamisen koordinaation avulla, myös luonut biologisen evoluution rinnalle merkittävän prosessin, jota yleisesti kutsutaan kulttuurievoluutioksi. Kommunikaation näkökulmasta mielekkäämpi tapa kuvata prosessia on kollektiivinen oppiminen. Prosessi on ymmärrettävä kumuloituvana tiedon, taitojen, teknologian ja tapojen prosessina, jolla on ollut valtaisa merkitys ihmiskunnan kehityksessä vieden sitä jatkuvasti kauemmas omilta biologisen evoluution juuriltaan (McMichael, 1993, s. 34). Ihmisyhteisöille ominainen kumuloitunut informaatio käsitetään tässä tutkimuksessa työkaluna, jonka ensisijainen merkitys on tehokkaassa koordinaatiossa systeemin tavoitteiden saavuttamisessa. Energian ja aineen näkökulmasta kiinnostavaa on myös todeta, että tiedon lisäksi myös aineella ja energialla on ihmisyhteisöissä kumuloitunut merkitys. Yhdyskuntien infrastruktuuri perustuu aiempien vuosien, vuosikymmenten ja jopa vuosisatojen takaisin energian ja aineen kasautumiin ja

niiden tuotantoon ja kulutukseen liittyvään infrastruktuuriin. Tämän ansioista uusilla sukupolvilla on ollut mahdollisuus syntyä aina niin sanoaksemme ”valmiiseen maailmaan”, jonka pohjalta hyvinvoinnin edelleen rakentaminen on suotuisissa olosuhteissa ollut mahdollista

Kiinnostava jatkokysymys, johon tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan ole mahdollisuutta sen tarkemmin paneutua, kuuluu: Voiko informaatiota ja kommunikaatiota mitata energian tai aineen yksikköinä. Chaissonin mukaan se ainakin on vaikeaa.

### 3. MAANVILJELYS JA KAUPUNGIT

Tulen ja lingvistisen vallankumouksen jälkeen merkittävin energiahyppy tapahtui maanviljelykseen siirtymisen myötä. Epävarman ravinnon perässä ei ollut enää tarpeen juosta, kun viljely ja karjanhoito pysyvän asutuksen vieressä toi ennustettavuutta ja varmuutta ravintoon. Ennen kaikkea EROIE maanviljelyssä oli metsästäjä-keräilyä huomattavasti suurempi. Se mahdollisti suuremman populaation, eriytyneet työtehtävät, suojaa petoja ja muita ihmisyyhteisöjä vastaan sekä monimutkaisemman kulttuurisen järjestelmän kehittymisen. Maanviljelyn myötä myös kaupungit ja niihin liittynyt yhteiskuntajärjestys oli omiaan nostamaan kompleksisuuden astetta.

### 4. TEOLLISUUS

Tulen haltuunotosta lähtien ihmisen polttoainevalikoima pysyi samana läpi lajimme satatuhatuotisen historian aina viime vuosisatoihin asti. Harppauksittain edennyt energiankulutuksen historia, kuten koko ihmiskunnan historia yleensäkin, otti ennennäkemättömän loikkauksen noin 200 vuotta sitten.

Fossiilisten polttoaineiden hyödyntäminen erilaisten teknologioiden avulla vapautti ihmisen valjastettavaksi ennen näkemättömät energiareсурssit. Keskimääräinen energiankulutus asukasta kohden moninkertaistui, kun Iso-Britanniassa vuonna 1700-luvulta lähtien siihen asti

tärkein polttoaine alkoi hiljalleen korvautumaan ruskohiilellä. Puun energiatihedys ollessa 16-23 MJ kilogrammaa kohden, oli ruskohiilen vastaava luku lähempänä 30 MJ. Ennen kaikkea ruskohiilessä olleen veden osuus massasta on alle 1% kun se polttopuussa on 15-50% (Smil, Biomass Energies, 1983).

Käytännössä tämä merkitsi sitä, että aiempaa suurempi määrä energiaa pystyttiin hyödyntämään lyhyessä ajassa. Tällä oli merkitystä mm. liikennevälineiden ja tuotantolaitteiden hyödyntämisessä. Käytännöllisesti katsoen fossiilisten energialähteiden vallankumous on muovannut koko globaalia ihmisten kulttuuria ja olemassaolomme perustuksia järjestyttävällä tavalla.

Avaruustähtitieteen professori Esko Valtaoja arvioi eräessä radiohaastattelussa vuonna 2013, että kolme sataa vuotta sitten eläneellä eurooppalaisella kuninkaalla oli huonommat oltavat kuin nykyään teollistuneeseen yhteiskuntaan syntyneellä työläisellä. Valtaoja ei ehkä huomioi henkilökohtaista kokemuksellisuutta ja sosiaalista ja henkilötason psykologian merkitystä osallisuuteen, mutta totisesti energian kulutuksen kasvu asukasta kohden on johtanut useiden ihmisten arvostamien asioiden kehitykseen haluttuun suuntaan. Vuosien 1700-2000 välillä eliniän odote on noussut 2,5 kertaiseksi; ruokaturvallisuus on parantunut merkittävästi; riski joutua väkivallan uhriksi on pienentynyt ja esimerkiksi riski joutua elämänsä aikana orjaksi on pienentynyt. Esimerkkejä voi keksiä useita ja samalla voi todeta, että keskimääräinen varallisuus, onnellisuus, turvallisuus, ja mahdollisuuksien tasa-arvo syntyperästä riippumatta ovat lisääntyneet. (Pinker)

## 5. ÖLJY

Myöhemmin teollisena vallankumouksen tunnettu energiavallankumous jatkui muiden fossiilisten polttoaineiden hyödyntämisessä. Maakaasu ja erityisesti helposti liikuteltavissa oleva raakaöljy ovat mullistaneet liikenteen ja ruoantuotannon. 1950-luvulta lähtien atomienergia on mahdollistanut tehokkaan tavan tuottaa lämpöenergiaa ja sähköä. Tässä tutkimuksessa tarkastelun kohteena ovat kuitenkin energiankulutuksen kannalta

merkityksellisemmän kokonaisuuden muodostavat fossiiliset polttoaineet, joiden varaan myös koko teollinen yhteiskunta eri puolilla on syntynyt.

## 6. SÄHKÖ

Sähköntuotanto ja yhteiskuntien sähköistäminen ovat olleet merkittävältä osin parantamassa primäärienergian hyödynnettävyyttä. Sähköntuotannon atomienergian valjastaminen on tuotantomuotona tuonut ihmisen käyttöön kaikkien aikojen suurimman EROIE-arvon. Yhteiskunnan sähköistyminen on prosessina vasta globaalissa mittakaavassa aluillaan, mutta sillä on keskeinen rooli myös tämän tutkimuksen kohde huomioiden.

## 7. DIGITALISAATIO

Neljäntenä teollisena vallankumouksena tunnettu digitalisaation, keinoälyn, robotiikan ja nanoteknologian yhteisvaikutus on synnyttänyt suurta ristiriitaa energiaan liittyvään keskusteluun. Tiedonhallinnan, pakkaamisen ja siirtämisen hurja kehittyminen yhdessä sähköistyneen yhteiskunnan kanssa on saanut monet uskomaan talouskasvun mahdollisuuksiin post-materialistisena aikana. Tässä kohtaa tyydyn kuitenkin vain toteamaan, ettei data ja elektroniikka ole lainkaan irti kytkeytyneitä energiasta ja materiaaleista. Päinvastoin yhteiskuntien energian ja materiaalin tarve on noussut aivan uudelle tasolle, sillä luonnonvarojen kysyntä tiettyjen metallien osalta herättää huolia ja esimerkiksi datakeskukset ovat valtavia energian käyttäjiä.

Teknologian kehityksen myötä energian kulutus on ensimmäistä kertaa ihmiskunnan historian aikana kasvanut eksponentiaalisesti viimeisten muutaman vuosisadan aikana. Samalla käyrällä energiankulutuksen kanssa on seurannut myös mm. taloudelliset kasvua ja hyvinvoinnin lisääntymistä kuvaavat käyrät.

## ENERGIAN JA HYVINVOINNIN HISTORIA

Ihmisen ja energian historia osoittaa niiden välisen suhteen kehityksen kannalta. Kehityksen laadullista merkitystä mitataan yleisimmin kasvulla (bruttokansantuote). Kehitystä voidaan mitata myös muilla tavoin, esimerkiksi inhimillisen kehityksen mittarilla (Human development Index (HDI)). Energian hyödyntämisen ja bruttokansan tuotteen kehitys ovat kulkeneet historiassa lähes yksi yhteen ja myös energian ja HDI:n välillä on selvä yhteys, kuten hieman myöhemmin osoitan.

### TALOUSKASVU (BKT)

*”Mikäli joku luulee, että eksponentiaalinen kasvu voi jatkua ikuisesti äärellisellä planeetalla on mahdollinen, on hän joko hullu tai taloustieteilijä”*

Kenneth Boulding, (Boulding, 1992)

Käytännössä katsoen talouskasvua sellaisena kuin me sen nykyään ymmärrämme, on ollut olemassa vasta teollisen vallankumouksen myötä. Ennen sitä talouden kasvu oli luonteeltaan lineaarista ja hidasta – jos sitä oli lainkaan. Tämä havainto on oleellinen tutkimukseni perushypoteesin kannalta. Sakan energiastrategian tavoitteet saattava olla osittain ristiriidassa talouskasvuun liittyvien tavoitteiden näkökulmasta.

Vallitsevan taloustieteen mukaan talouskasvu syntyy pääosin lisääntyneistä tiedoista ja innovaatioista eli teknologioista. Työn ja pääoman on katsottu tyypillisesti vaikuttavan talouskasvuun vain vähäisesti. Koskia tieto voi kasvaa rajatta, on vallitsevan talousteorian näkökulmasta myös talouden kasvun mahdollisuudet tulkittu usein rajattomiksi. (Korkman, 2013).

Fysikaaliset reunaehdot huomioiden on kuitenkin ilmeistä, että tämä talouskasvun määritelmä on riittämätön ja perustuu tällaisenaan mahdottomuudelta kuulostavaan ikiliikkuja-malliin. Myös muunlaisia teorioita ja näkemyksiä talouden kasvun luonteesta on esitetty. Esimerkiksi niin kutsuttu biofysikaalinen talousteorioita lähtee siitä, että talouden

kasvu on riippuvainen sen tarvitsemasta energiasta ja raaka-aineista (Suokko & Partanen, 2017, s. 119).

Biofysikaalinen talousteoria tarjoaa kiinnostavan näkökulman oman tutkimusaiheen kannalta. Biofysikaalisen talouden kiertokulkumalli on systeemiteorian mukaisesti avoin ja noudattaa termodynamiikan lainalaisuuksia. Taloussysteemi ottaa sisäänsä energiaa ja ainetta, jota se muokkaa omaan käyttöönsä sopivaksi. Talous voi kasvaa niin kauan, kun systeemi kykenee hyödyntämään ulkopuolista energiaa yhä korkeammalla asteella. Talous on siis materiaalivirtajärjestelmä, joka muokkaa raaka-aineita tuotteiksi ja palveluiksi tuottaen samalla sivutuotteina jätteitä ja lämpöä. (Hall & Klitgaard, 2012).

Onkin oleellista huomioida se, että energian osuus talouskasvusta on paljon suurempi kuin nykyisellään tyypillisesti ymmärretään. Reiner Kummel on tutkinut energian osuutta talouskasvussa. Esimerkiksi Saksan osalta on hän tutkimuksessaan päätenyt energian osuudesta talouskasvussa luokkaan 30-60% kaikista vaikuttavista tekijöistä (Kummel, 2011).

### HYVINVOINTI (HDI)

Mutta energian ja hyvinvoinnin välinen positiivinen vuorovaikutus ei rajoitu pelkästään talouden kasvun mittareihin, kuten BKT. Myös muut laadullisesti tarkasteltuna merkittävät edistykset ovat kulkeneet rinnan energian kulutuksen kasvun kanssa. Muun muassa elinikä, sosiaalinen progressio, väkivallan määrän väheneminen ja muut arvokkaita pitämämme asiat ovat seuranneet tätä kehitystä. (Shaffer)

Yksi tapa arvioida hyvinvoinnin lisääntymistä on verrata energian ja inhimillisen kehityksen indeksiä (HDI). Inhimillisen kehityksen indeksissä on sisällytettyinä kolme hyvinvointia kuvaavaa ulottuvuutta: eliniän odote, koulutukseen pääsy sekä bruttokansantulo. Judit Wright ja James Conca ovat tutkimuksessaan arvioineet HDI:n ja energian kulutuksen välistä yhteyttä. Heidän mukaansa yhteiskunta tarvitsee tietyn määrän energiaa saavuttaakseen inhimillisenä pidetyn 0,8 HDI-arvon tason. He ovat myös arvioineet, että tähän päästäkseen yhteiskunnan

keskimääräisen EROIE:n tulisi olla vähintään 7. (Wright & Conca, 2009) Esimerkiksi Kiinan HDI-arvoksi arvioidaan tällä hetkellä alle 0,8. Tämä merkitsee sitä, että EROIE:n on globaalisti kasvettava vielä huomattavasti nykyisestä tasostaan.

## TARINOITA ROMAHDUKSISTA

Tutkimushypoteesini liittyy toisaalta myös halu ymmärtää mitä yhteiskunnalle tapahtuu, ellei se kykene ylläpitämään saavuttamiaan energiatiheyden ja EROIE:n tasoaan. Tämän tutkimuksen taustalla piilee globaalisti jaettu huoli siitä mitä talouksille ja yhteiskunnille käy, elleivät ne onnistu ratkaisemaan kestävyysliittymiä materiaalisia haasteita sekä ilmastonmuutoksen aiheuttamia paineita.

Ihmiskunnan historiasta löytyykin myös esimerkkejä systeemien romahduksista. Yksi eniten tukittu historiallinen romahdus lienee Rooman valtakunnan tuho. Thomas Homer-Dixon on arvioinut Rooman valtakunnan tuhoutumista niin sanotun viiden tektonisen jännitteen kautta. Käytännössä ne kaikki liittyvät energia- ja materiaalivirtojen kriisiytymiseen. (Homer-Dixon, *Environment, Scarcity, and Violence*, 1999). Homer-Dixon on arvioinut myös nykyisten ympäristö- ja energiakriisien voivan johtaa kansallisiin ja globaaleihin murroksiin, joilla on dramaattiset vaikutukset ihmisten hyvinvointiin. Viidestä tekijästä Homer-Dixonin mukaan energia on keskeisin. Hän myös pitää EROIE:ta olennaisena mittarina yhteiskunnan selviytymisen kannalta. Homer-Dixon kutsuu tällaisia romahduksia synkronoiduksi kaatumisiksi. (Homer-Dixon, *The Upside of Down: Catastrophe, Creativity, and the Renewal of Civilization.*, 2006)

Toinen tunnettu esimerkki on Pääsisäissaaren yhteisö, josta Clive Ponting kertoo kirjassaan *Green History of World*. Eurooppalaistan löytöretkeilijöiden saavuttua saarelle ensimmäisen kerran vuonna 1722, löysivät he noin 3000 ihmistä elämässä äärimmäisen köyhissä ja alkeellisissa olosuhteissa. Vieraita hämmästytti kuitenkin saaren lähes 600 massiivista ja erityisen taidokkaasti valmistettua kivistä patsasta, jotka sijaitsivat eri puolilla saarta. (Ponting, 1992) Patsaat yhdessä muun löydetyn aineiston kanssa osoittivat, että noin 1500 vuotta sitten

kaukaiselle saarelle saapunut, tuolloin muutaman kymmen ihmisen ryhmästä alkunsa saanut yhteisö, oli onnistunut kasvamaan yli 7000 ihmisen ja usean erillisen kylän muodostamaksi ja huomattavasti lähtötilannetta kompleksisemmaksi systeemiksi.

Keskenään kilpailemaan ryhtyneet kyläyhteisöt rakensivat ja pystyttivät toinen toistaan uljaampia patsaita ympäri saarta. Kilpavarustelu johti kuitenkin nopeasti edenneeseen ekologiseen ja sosiaaliseen katastrofiin. Polttoaineiksi sekä patsaiden liikuttamista varten puita kaadettiin niin nopeasti, että koko saari oli pian niistä kokonaan paljaana. Metsäkato johti eroosioon, joka köyhdytti maaperää ja pienensi viljelysatoja. Saaren ihmiset olivat käyttäneet pienen maa-alansa materiaaliset resurssit loppuun tavalla, joka sai sen

kukoistamaan lyhyeksi hetkeksi, mutta joka sitten romahti niin nopeasti, että vain muutamaa vuosisataa myöhemmin saarella eläneet, väkiluvultaan harvat ihmiset eivät enää tunteneet edeltävien sukupolviensa kukoistavasta elämäntyylistä, kulttuurista tai sen enempää patsaistakaan juuri mitään.

Vielä suurempia ja dramaattisempia olivat kokonaisten sivilisaatioiden tuhoutumiset Amerikassa hieman sen jälkeen, kun eurooppalaiset löytöretkeilijät saapuivat alueelle. Paikoin jopa 95% paikallisesta alkuperäisväestöstä menehtyi, suurimmaksi osaksi eurooppalaisiin tauteihin, joita vastaan heillä ei ollut tarvittavaa vastustuskykyä. Systeemin romahduksen näkökulmasta kiinnostavan havainnon kuitenkin tarjoaa Thomas C. Mann, jonka mukaan paikoilleen rakennetut ja kukoistavat yhteisöt romahtivat kun ”vain” 15% väestöstä oli menehtynyt. (Mann, 2011). Tämä on osoittaa sen, kuinka kompleksisessa systeemissä keskinäisessä vuorovaikutus- ja riippuvuussuhteessa olevat osatekijät voivat kiihdyttää entropiaa energiavirtojen katketessa äkillisesti.

Nämä historialliset esimerkit tukevat osaltaan tutkimushypoteesia, mutta onko todella niin, että myös vauras, moderni, jälkiteollinen saksalainen tietoyhteisö voisi suistua entropiaan voimattomana reagoimaan ehtyviin energiavaroihin ja globaaliin ilmastokatastrofiin?



## c) KOMPLEKSISUUSTEORIA

Tämän tutkimuksen teoreettisena viitekehyksenä on kompleksisuusteoria, joka pohjaa vahvasti systeemiin. Tutkimuksen tarkasteltavana kohteena oleva systeemi on moderni valtio, tässä tapauksen Saksan liittotasavalta.

Niinpä tutkimukseni teoreettinen viitekehys hyödyntää systeemiteorioiden kirjoa, jossa erityisesti kompleksisuus- ja kaaosteorioiden aiemmat määritelmät tuntuvat kiinnostavilta. Kompleksisuusteorian kannalta avainkäsitteitä ovat aiemmin kuvatut systeemi, energiavirrat, entropia ja kompleksisuus. Tätä teoreettisesti kehikkoa vasten myöhemmässä analyysiosiossa pyrin tarkastelemaan varsinaista tutkimuskohdetta ja tutkimusongelmaa.

Kompleksisuusteorian keskiössä on oletama, että avoin, ympäristönsä kanssa vuorovaikuttava systeemi on väistämättä luonteeltaan kompleksinen, toisin kuin Newtonin aikainen ymmärrys systeemeistä antoi ymmärtää. Kompleksisuusteorian käsitys avoimista systeemeistä ja niiden välisestä vuorovaikutuksesta ottaa myös huomioon teorian lämpöopista. Avoimilla systeemeillä on rajat, ne ovat kykeneväisiä liikkumaan ja vaihtamaan informaatiota ja energiaa ympäristönsä kanssa. Nämä ominaisuuden tekevät mahdolliseksi evolutiivisen jatkumon, kuten myös Eric Chaisson sen kuvaa. (Prigogin & Stengers, 1984).

Kompleksisuusteoriassa erityistapaus kompleksista systeemistä on adaptiivinen kompleksinen systeemi, joka osoittaa kykyä oppia, sopeutua ja kehittyä yhdessä ympäristönsä kanssa yli ajan, myös sellaisissa tapauksissa joissa ympäristö muuttuu rajusti. (Holland, 1995) Käsittelen tutkimuksessani tutkimuskohteena olevaa saksalaista yhteiskuntaa tällaisena adaptiivisena kompleksisena systeeminä.

### i) SYSTEEMITEOREETTISET SOVELLUKSEN ALAT YHTEISKUNTATIETEISSÄ

Systeemiteoria löysi muotonsa yhteiskuntatieteissä jo 1950-luvulla. Sitä on hyödynnetty myös kansainvälisen politiikan ja maailmanpolitiikan tutkimuksessa. Morton Kaplanin, David

Eastonin, Talcott Parssonin ja muiden varhaisten systeemiteoreetikkojen systeemiteoreettisessa lähestymisessä jää silti omasta mielestäni liian pienellä painoarvolla käsitys energian ja kompleksisuuden välisestä suhteesta ja siten myös lämpöopin asettamista reunaehdoista (Easton, 1965)

Tämä on sikäli ymmärrettävää, että energian merkitystä edes talouskasvulle ei ole hahmotettu valtavirtataloustieteessä vielä tänäkään päivänä. Myös esimerkiksi lämmön ja mekaanisen energian välinen suhde varmistettiin vasta 1800-luvun puolivälissä ja lämpöopin perusperiaatteiden soveltaminen käytäntöön on jäänyt varsin vähäiseksi senkin jälkeen. Esimerkiksi talouskasvun pääkomponentteina on pidetty asioita kuten työntekijöiden erikoistuminen ja teknologian kehitys, mutta niiden merkitystä energian näkökulmasta ei

juurikaan käsitellä. (Suokko & Partanen, 2017, s. 18). Sama pätee yhteiskuntien ja niiden välisten suhteiden tarkastelemiseen energian näkökulmasta. Varhaisten systeemiteoreetikoiden, ml. David Easton ja Talcott Parsson merkittävin inspiraation lähde on pikemmin systeemin konseptuaalinen merkitys ja tieteellinen eetos, jossa systeemin ajateltiin olevan loogisen tiedekäsityksen peruskäsite. (Parsons, 1991) Tämä arvo säilyy myös omassa tutkimuksessani, mutta käsitteistöin avaaminen kompleksisuusteorian mukanaan tuomalla näkemyksellä kompleksisen systeemin toiminnallisuudesta, antaa paremmat eväät kuvata todellisuutta.

Lisää teoreettisia apuja on syytä hakea hieman myöhemmiltä systeemiteoreetikoilta. Yksi systeemiteorian myöhempiä johdannaisia on kaaosteoria. Se on pyrkinyt kuvaamaan sosiaalisen maailman epävarmuuksien, epäjohdonmukaisuuksien ja ennustettavuuden muotoja (Elliot & Kiel, 1996).

Vielä kiinnostavampi on kuitenkin mielestäni toinen systeemiteorian johdannainen, kompleksisuusteoria. Sosiaalisen kompleksisuuden tutkimuksella on kuvattu ihmisyyhteisöjen historiallista kehitystä pienilukuisista perheyhteisöistä moderniin globaaliin verkottuneeseen systeemiin. Kompleksisuus on käännetty jossain suomalaisessa kirjallisuudessa myös monimutkaisuudeksi. Käytän tässä tutkimuksessani kuitenkin käsitettä kompleksisuus, koska sen konnotaatio on mielestäni normatiivisessa mielessä vähemmän negatiivinen.

Kompleksisuuden korkea astehan viittaa pikemmin progressioon systeemin menestysedellytysten näkökulmasta.

Systeemiteorian soveltaminen yhteiskuntatieteisiin on haastavaa. Monimutkaisessa verkostojen maailmassa pelkästään systeemin mielekäs määrittäminen muodostuu haasteeksi. Reduktion keinoin voidaan silti luoda mielekäs systeemiteoreettinen asetelma, jossa avoimen systeemin riippuvuus- ja vuorovaikutussuhdetta ympäristönsä kanssa kuvataan.

Tässä tutkimuksessa keskeinen määrällinen tarkastelu keskittyy energiavirtoihin, jotka kulkevat kuvitteellisen saksalaisen yhteiskunnan lävitse, ja joista se siten hyötyy ja on samalla riippuvainen. Saksaa voidaan myös pitää esimerkkinä yhdestä maapallon kompleksisimmista systeemeistä tarjoten siten tarkastelun kohteeksi parhaan mahdollisen esimerkkitapauksen myös yleisempiä malleja ja todellisuutta paremmin ymmärtääksemme. Kuvaan tähän johtanutta kehitystä analyysiosiossa tarkemmin.

Toisin kuin kaaosteoria, kompleksisuusteoria olettaa systeemien kompleksisuuden niiden ominaisuudeksi, ei seuraukseksi. Monimutkaisuus on edellytys sille, että systeemi voi toimia kuten se toimii. Kompleksisuusteoriaan kuuluu lisäksi ajatus siitä, että kompleksisuus on edellytys ja suuntaus silloin kun systeemi pyrkii kehittymään.

Kompleksisuusteorian kohdalla on käyty keskustelua siitä, täyttääkö se tieteellisen teorian varsinaisia tunnusmerkkejä. Kompleksisuusteoreetikkona tunnettu Eve Mitleton-Kellyn mukaan kompleksisuus on, pikemmin kuin varsinainen teoria, tapa ajatella ja ymmärtää maailman ilmiöitä. Kompleksisuus sopii mielestäni silti hyvin tutkimukseni teoreettiseksi kehikoksi auttaen rakentamaan hypoteeseja ja uusia näkökulmia sosiaalisen maailman ilmiöihin.

Varhaisemmatkin systeemiteoreetikot tarjoavat joka tapauksessa määritelmän systeemille tehden sen tutuksi ja ymmärrettäväksi myös sosiaalitieteiden parissa. Ja kuten todettua, omassa tutkimuksessani tarkastelun kohteena oleva systeemi on Saksan valtio poliittisena entiteettinä. Se on avoin adaptiivinen kompleksi systeemi, joka on jatkuvassa vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. Energiavirtojen kannalta se on avoin systeemi, joka vuorovaikuttaa ympäristönsä kanssa läpivirtaavan energian myötä.

Veikkaukseni on, että systeemiteoreettiset sovellukset yhteiskuntatieteissä odottavat todellista sadonkorjuutaan, jos sosiaalisten suhteiden kvantifiointi ja datan mielekäs analysointi teknologisen kehityksen myötä tulee nykyistä paremmin mahdolliseksi.

## ii) ERIC CHAISSON: ENERGIIVIRRAT

Olen päätenyt lopulta käyttämään konseptuaalisena lähtökohtana ja teoreettisena taustana kosmologian taustan omaavan Eric Chaissonin käsitettä energiavirroista (energy flows) ja niiden suhteesta systeemien kompleksisuuteen. Chaissonin mukaan kaikki kompleksiset systeemit – galakseista ihmiskuntaan – noudattavat samoja energiavirtoihin ja kompleksisuuden lisääntymiseen liittyviä lainalaisuuksia.

Kuten aiemmin todettua, liitetään Chaisson kaikkeudenhistorian (Big History) koulukuntaan, sillä hänen kuvauksensa kosmisesta evoluutiosta yltää logaritmisena alkuräjähdyksestä nykyaikaan painottaen ihmisen ja elämän historiaa. Sosiaalitieteiden kannalta oleellisen tutkimuksen kohde Chaissonin ja kaikkeudenhistorian osalta on kulttuurinen aikakausi.

Ihminen yksilönä ja erityisesti monimutkaiseksi 7 miljardin yksilön globaaliksi ihmiskunnaksi levittäytyneenä verkkona on ylivoimaisesti kompleksisin systeemi, jonka koko kosmos ja sen historia huomioiden tunnemme. (Chaisson, 2006).

Samalla se on myös kaikkein energiaintensiivisin systeemi. Chaissonin mukaan silloin kun ympäristössä on tarjolla ylijäämäinen määrä energiaa, voi systeemi hyödyntää tuon energiamäärän ja muuttaa omaa toiminnallisuuttaan kohti kompleksisempaa tasoa. Samalla systeemi kuitenkin tulee riippuvaiseksi uudesta energiaintensiteetin tasostaan eikä voi nopeasti reagoida, mikäli se syystä tai toisesta ei onnistu jatkuvasti saamaan ympäristöstään tarvitsemaansa energiamäärää. Tämä selittää esimerkiksi aiemmin kuvatut kolme historiallista tapausta ihmisyhteisöjen romahduksista.

Samoin kuin solu luhistuu välittömästi kohdatessaan energiapulan, myös Saksan valtiota ja yhteiskuntaa sellaisena kuin sen tällä hetkellä ymmärrämme, ei voi olla olemassa ilman että se

kaikkina hetkinä saa käyttöönsä energiavirran, jonka sen nykyinen kompleksisuuden aste vaatii. Esimerkkejä ihmisyyhteisöjen romahduksista käsittelin aiemmin tutkimuksessani.

Toisaalta kompleksinen systeemi on Chaissonin mukaan myös enemmän resilienssi kuin hyvin yksinkertainen. Saksa on kovasti riippuvainen venäläisestä putkia pitkin maahan tulevasta maakaasusta, mutta jos Venäjä päättäisi sulkea kaasun toimitukset äkillisesti, on syytä uskoa, että saksalainen yhteiskunta selviäisi lyhyestä shokista, sikäli kuin se on luonteeltaan selkeästi väliaikainen. Vähemmän monimutkaiselle yhteiskunnalle, jonka kyky hyödyntää energiavirtoja on yksipuolisempia, vastaava shokki voisi olla absoluuttisessa mielessä vieläkin kohtalokkaampi. Energiewendeä energian demokratisaation ja resilienssin näkökulmasta on arvioinut tutkimuksessaan muun muassa Tazio Muller. (Muller, 2017)

Joka tapauksessa, saksalainenkaan yhteiskunta ei voisi tulla toimeen ilman vastaavaa määrää korvaavia energiavirtoja. Todennäköisesti Saksassa lisättäisiin välittöminä toimenpiteinä kivihiilen määrää polttoaineena ja käynnistettäisiin valmiustilassa olevia ydinreaktoreita.

Koko kosmisessa historiassa ei ole Chaissonin mukaan esimerkkiä systeemistä, joka olisi onnistunut säilyttämään kompleksisuuden asteensa energiavirtojen hyödyntämisen heikentyessä. (Chaisson, 2006) Tämä energian ja kompleksisuuden välinen suhde on nykytieteen valossa luonnonlaki, jonka tunnemme paremmin lämpöopin toisena lauseena. Tämä on keskeinen lähtökohta myös tälle tutkimukselle.

Chaissonin määritelmän mukaan kompleksisuus on monimutkaisuuden, moninaisuuden tai osallistumisen tila toisiinsa liittyneiden systeemin rakenteiden välillä ja toiminnallisuuksien osana.

Luonnontieteellinen kompleksisuuden tutkimus on sitä vaikeampaa mitä monimutkaisemmasta systeemistä on kysymys. Voikin sanoa, että fysiikan keinoin ei ole kovin vaikeaa kuvata ja selittää galaksin rakennetta ja funktiota, mutta mitä kompleksisimmasta systeemistä on kysymys, sitä vaikeammaksi tehtävä käy. DNA:n rakenne ja funktio ovat jo huomattavasti haastavampia, puhumattakaan yli 7 miljardin ihmisen muodostamasta hyperverkottuneesta ihmiskunnasta ylä- ja alakulttuureineen ja yksilöiden psykologisine ulottuvuuksineen. Tehtävä on suorastaan mahdoton nykyisillä mittausvälineillä. Silti, Roy Bashkarin ja kriittisen realismin rohkaisemana, emme anna sen lannistaa tavoitteessa

ymmärtää totuutta myös tästä oleellista näkökulmasta käsin. Se, että kyseessä on kompleksisempi tutkimuskohde, ei saisi merkitä sitä, että luovumme kokonaan tieteellisistä periaatteistamme. Toisaalta on myös syytä olettaa, että perinteiset sosiaalitieteissä kehitetyt kvalitatiiviset tutkimusmenetelmät voivat auttaa hahmottaan todellisuutta kompleksisuusteorian tukemana.

Kuten Chaisson kuvaa, onkin tehtävä ero sille kompleksisuudelle, joka on peräisin biologisesta evoluutiosta ja sille joka on peräisin kulttuurisesta evoluutiosta. Tämä jaottelu ei liity niinkään perusolemusten eroavaisuuteen vaan pikemminkin kykyyn ja kyvyttömyyteen mitata niitä. Silti aineen ja energian tasolla välttämättömyyksien ja lakien on fysiikan tärkeimpien teorioiden mukaan oltava niin näkyville kuin näkymättömille tapahtumille.

Analyysiosiossani pyrin soveltamaan lämpöopin ja entropian lakeja modernin hyperkompleksisen systeemin toimintaan. Käytän tutkimuksessa hyväksi Eric Chaissonin tarjoamia konseptuaalisia apuvälineitä kompleksisuuden ja energiavirtojen välisestä suhteesta arvioiden niiden kautta saksalaisen yhteiskunnan energiatekniikkaa, joka pyrkii tekemään periaatteellisia ja teknisiä muutoksia omaan energiavirtahallintaansa.

## ENERGIASELITYKSEN KRITIIKKI

Energian merkitystä sosiaalisen kompleksisuuden päätekijänä ei ole mikään uusi ajatus. Erityisesti öljykriisi 1973 näyttää kirvoittaneen paljon tutkimuksia tästä näkökulmasta. Aivan ainutlaatuinen nykyinen 2000-luvulla alkanut keskustelu energialähteiden riittämättömyydestä ja ympäristövaikutuksista ei myöskään ole. Kivihiilen kohdalla keskustelua kasvun rajoista käytiin tiettyjen näkökulmien osalta jo 1800- ja 1900-luvuilla.

Vaikka energiavirtojen fysikaalisesta merkityksestä elävien organismien toimintojen ylläpitämisessä ja kompleksisuuden asteen kasvattamisessa on tieteellisesti laajasti hyväksyttyä, ei sillä monien mielestä kyetä selittämään monimutkaisia sosiaalisia verkostoja ja niissä tapahtuvia ilmiöitä. Vaikka energiavirrat asettaisivatkin rajat tietyn ihmisyyhteisön materiaalien pyrkimysten toteuttamiselle, ei niillä kyetä kuvaamaan vaikkapa yhteisön

sisäistä eetosta. Energiavirroilla tai energiatihedellä ei myöskään voidaan kuvata sosiaalisen systeemin kehitystä deterministisessä mielessä. (Smil, *Energy in World History*, 1994)

---

## 4) Aineisto ja menetelmät

Tutkimukseni tieteenfilosofinen lähtökohta on realistinen, ja kuten aiemmin olen itse arvioinut, vielä paremmin sitä kuvaa kriittinen realismi. Tarkastelen tutkimuskohdettani empiirisesti havaittavien energia- ja materiaalivirtojen kautta korostaen niiden merkitystä sosiaalitieteiden tavanomaisten keinojen tukena.

Soveltamani tutkimusote ja teoria on kuitenkin varsin vähän käytetty sosiaali- ja yhteiskuntatieteiden piirissä. Äärimmäisen kompleksisten systeemien tutkiminen puhtaasti empiristisin menetelmin on vaikeaa. Lisäksi humanistista- ja sosiaalisten suhteiden maailmaa on tarkasteltava paljolti kieltä ja tekstejä arvioimalla.

Tutkimusaineistoni koostuu poliittisesta strategiaperustasta, jota seuraavassa osiossa analysoin tarkemmin. Rajaankin kuitenkin tarkastelunäkökulman energia- ja materiaalivirtoihin liittyviin politiikkatoimiin, joiden soveltamisen käytännönvaikutuksia suhteessa tavoitteisiin arvioin paitsi tilastollisin menetelmin, myös valittua kompleksisuusteoreettista viitekehystä vasten. Näin ollen tutkimukseni on perusluonteeltaan varsin monitieteinen ja metodologisesti hyödynnän sekä kvantitatiivisia että kvalitatiivisia menetelmiä.

Tutkimusaineistona toimii vuonna 2010 Saksan liittovaltion talous- ja teknologiaministeriön sekä ympäristö-, luonnonsuojelu ja ydinturvallisuus ministeriön julkaisema ” (Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi)) *Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply*” –raportti. Se on niin sanotun Saksan energiakäänteen (energiewende, energy transition) pohjadokumentti, joka kuvaa Saksan pyrkimystä muuttaa energiatuotantoaan kestäväksi vuoteen 2050 mennessä. Raportin lisäksi käsittelen, myös vuonna 2011 tehtyä lisäpäättöstä nopeuttaa maan ydinvoimaloiden sulkemista. Käyn aineistoa läpi tarkemmin analyysiosassa.

---

## 5) Analyysi

*"Where oil and gas - there is justice and power"*

*Venäläinen sanonta*

Samoin kuin solu luhistuu välittömästi kohdatessaan energiapulan, myös Saksan valtiota ja yhteiskuntaa sellaisena kuin sen tällä hetkellä ymmärrämme, ei voi olla olemassa ilman että se kaikkina hetkinä saa käyttöönsä energiavirran, jonka sen nykyinen kompleksisuuden aste vaatii. Olemme nyt sekä teoreettisin että tilastollisin menetelmin osoittaneet, että saksalaisen yhteiskunnan viimeisten 300 vuoden aikana merkittävästi kehittynyt hyvinvointi perustuu energiankulutukselle ja on siitä suoraan riippuvainen.

Analyysisosiossa pyrin arvioimaan Saksan suhdetta tutkimuksen pääkysymykseen eli siihen, miksi energiastrategiassa asetettujen tavoitteiden toteuttaminen käytännössä on ollut mahdotonta.

Kustannusten lisääntyminen ja elämäntapamme kestävyys liittyvät huolet ovat saaneet aikaan uuden energiareformiksi kuvatun, globaalit mittakaavat saaneen, poliittisen ja taloudellisen hankkeen. Erityisesti ilmastonmuutokseen liittyvien riskien huomioiminen on noussut kansallisen ja maailmapoliittisen agendan tärkeimpien tavoitteiden joukkoon isossa osassa maapalloa. Tuotantokustannusten nousu haittaa erityisesti niitä valtioita, jotka ovat eniten riippuvaisia sen tuonnista. Esimerkiksi Saksassa tuontienergian määrä vuonna 2014 oli peräti 61,4% prosenttia. Suurin osa tästä energiasta oli öljyjalosteita ja venäläistä maakaasua (Eurostat, 2014).

Se on lisännyt viime aikoina energiaomavaraisuuden tavoittelua kaikkialla maailmassa. Omavaraisuuden tavoittelu on vaatinut vaihtoehtoisten energiantuotantotapojen lisäämistä ja kehittämistä.



Saksan tavoitteleva energiareformi on kenties tunnetuin 2000-luvun energiapoliittinen hanke. Energiewendessä tähdätään vähähiiliseen, ympäristön kannalta kestäväan, luotettavaan ja edulliseen energiantuotantoon. Energiatransformaatio tähtää järjestelmää, joka nojaa vahvasti uusiutuviin energialähteisiin, energiatehokkuuden lisäämiseen sekä energiankysynnän parempaan hallintaan. Lisäksi ohjelman tavoitteiden mukaisesti Saksa luopuu kokonaan ydinenergiasta vuoteen 2022 mennessä.

Saksan energiapoliittista strategiaa määrittää luonnollisesti muutama erityinen seikka. Ensinnäkin Saksan jäsenyys Euroopan unionissa merkitsee sitä, että se on oleelliselta osin sitoutunut unionin yhteiseen energia- ja ilmastopoliittikkaan. Toisekseen Saksa on erittäin riippuvainen ulkomaisista energialähteistä, erityisesti kivihiiilestä ja öljystä. Näin ollen voikin todeta, että Saksa on keskenään kilpailevien energiapoliittisten tavoitteiden synnyttämä ulko- ja sisäpoliittisesti ristiriitainen monimutkainen ja epästabiili vyyhti (Blackbourn D. , 2013). Sillä on varmasti omat vaikutuksensa haastavan energiapoliittisen strategian toteuttamisessa.

Kenties kuuluisimmaksi energiapoliittiseksi projektiksi maailmalla muodostunut Saksan energiatransformaatio – energiewenden keskiössä on tavoite nostaa uusiutuvien osuutta energiantuotannossa aiemmin alhaiselta tasolta nopealla aikataululla. Poliitiikan toteuttamiseksi Saksan valtio tukee suurikätisesti ja tietoisesti markkinoita kehittäen uusiutuvaa energiaa ja niiden käyttöönottoa. Energiewende sai reippaita lisäkierrroksia, kun maanjäristyksen aiheuttama tsunami sai aikaan keskeytyksen Fukushima ydinvoimaloissa Japanissa. Saksassa tehtiin tuolloin päätös ydinvoimaloiden nopeutetusta alasajosta.

Tässä tutkimuksessa tarkoitukseni on testata lämpöopin ja kompleksiuusteoriasta johdettua tutkimushypoteesia suhteessa tutkimuskysymykseen. Kenties maailman kuuluisin energiastrategia Energiewende on kohdannut suuria haasteita. Strategian tavoitteet kestävä kasvun edistämisestä energiatransformaation avulla ovat osoittautuneet käytännössä vaikeiksi toteuttaa. Tutkimuskysymyksessäni kysyn miksi sen toteuttaminen on niin vaikeaa?

Heti analyysiosion alussa on todettava, että demokraattisena poliittisena prosessina Energiewende on tavoitteiltaan ja sisällöltään yksi kunnianhimoisimmista energiastrategioista nimenomaan suhteessa sen tavoitteisiin. Saksan energiastrategian tavoitteet on laadittu pitkä perspektiivi huomioiden ja sen riskiprofiili onkin erityisesti lyhyellä aikavälillä tiedostettu

korkeaksi. Tässä suhteessa merkitykselliseksi muodostuu ihmisyyhteisöjen poikkeuksellinen kyky jakaa informaatiota kommunikointikykyjensä avulla. Energiastrategiat voidaan tulkita keskusteluina ja moniulotteisena kommunikaationa, jonka pyrkimyksenä on turvata kompleksisuuden säilyminen ja lisääminen yli ajan. (Vaara;Mantere;Jacobs;& Balogun, 2014)

Kertaan seuraavaksi lyhyesti Energiewenden keskeiset tavoitteet oman tutkimusasetelmani näkökulmasta. Ne ovat ilmastonmuutoksen aiheuttaman uhkan sekä polttoaineiden heikkenevän EROIE:n ratkaiseminen sekä taloudellisen ja muun hyvinvoinnin kasvattaminen Saksassa.

## a) ILMASTONMUUTOS JA ENERGIAN HINTA SAKSASSA

Ihmisen aikaansaama ilmastonmuutos on planetaarinen ilmiö, jonka suurin yksittäinen syy liittyy hiilidioksidin määrän kasvuun maapallon ilmakehässä. Erityisesti fossiilisista polttoaineista vapautunut hiilidioksidi ei ehdi sitoutumaan maapallolla kasvavaan biomassaan ja jää siksi ilmakehään. Hiilidioksidimolekyylit estävät auringon lämmön haihtumista takaisin avaruuteen ja lämmittävät siksi erityisesti meriä ja ilmaa. Ilmastonmuutos aiheuttaa aiemmin kuvattuun poikkeuksellisen vakaaseen ilmastolliseen ajanjaksoon, johon myös ruuantuotantomme perustuu, epävakautta ja ennustamattomuutta rasittaen elinolosuhteita vakavalla tavalla kaikkialla maapallolla.

Ilmastonlämpeneminen on etenevä prosessi, jonka kokonaan pysäyttäminen on vaikeaa tai peräti mahdotonta. Sen aiheuttamien vahinkojen suuruudeksi arvioidaan kuitenkin niin mittavia systeemisiä seurauksia, että vuonna 2016 solmitussa Pariisin ilmastositoumuksessa lähes kaikki maapallon maat sitoutuivat pysäyttämään ilmastonlämpenemiseen kahteen celsius-asteeseen. (Lynas, 2008)

Ilmastonmuutoksen suoria ja epäsuoria vaikutuksia on arvioitu myös Saksan osalta. Arvioiden mukaan kohoavat lämpötilat, leudommat talvet ja aiempaa rajummat sääilmiöt vaikuttavat lisääntyvästi myös Saksaan ja niillä on kielteisiä vaikutuksia mm. energiantuotantoon, maatalouteen ja terveydenhoitoon. (Monitoringbericht 2015 zur Deutschen

Anpassungsstrategie an den Klimawandel) Ilmastomuutoksen taloudelliseksi kustannuksiksi Saksalle on arvioitu 262 – 655 miljardia euroa. (Federal Ministry of Finance, 2016)

Ilmastomuutoksen ohella toinen energiatransformaatioon kannustava ilmiö liittyy energian hinnan kallistumiseen. Fossiiliset energialähteet ovat niukkenevia, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että niiden tuottamiseen investoitu energia tuottaa yhä pienemmän ylijäämän uutta hyödynnettäväksi kelpaavaa energiaa. Ilmiötä kuvataan käsitteellä EROIE (Energy return on invested energy). Taloudellisin termein tätä kutsutaan yksinkertaisesti kustannusten nousuksi. Se on johtanut mm. energiatehokkuuden lisäämiseen ja vaihtoehtoisten tuotantotapojen suhteellisen kilpailukyvyyn paranemiseen.

Se tosiseikka, että tietyt ekologiset rajoitteet ovat lähentyneet (Rockström, 2009), tarkoittaa sitä, että marginaalinen hyöty jokaisesta lisäystä ”kasvun” yksiköstä on entistä pienempi. Toisin sanoen, koska kasvun aikaan saaminen maksaa aiempaa enemmän, jää siitä aiempaa vähemmän jaettavaa. (Muller, 2017). Saksan Energiewendeä tutkineet Tadzio Mullerin mukaan aikakautena, jolloin fossiilisten polttoaineiden EROIE on kääntynyt laskuun, on meidän investoitava yhä enemmän energiaa saadaksemme tarvitsemamme määrän energiaa tuotettua.

## **b) SAKSA SYSTEEMINÄ: MIKÄ TEKEE SAKSASTA KIINNOSTAVAN TUTKIMUSKOHTEN?**

Saksan energiatransformaatiossa panoksena ovat talouden kasvu ja yhteiskunnan vakaus, kuten Suokko ja Partanen käsillä olevaa energiamurrosta kirjassaan kuvaavat. (Suokko & Partanen, 2017)

Gloaalia energiapoliittista transformaatiota kuvaa käsillä oleva epävarmuus, joka heijastuu myös kansallisvaltioiden kykyyn tehdä päätöksiä. Energiansaannin turvaaminen on yhteiskuntien toiminnan kannalta kuitenkin ensisijaisen tärkeää ja sen vuoksi ne joutuvat

tekemään pitkälle yltäviä päätöksiä ja investointeja tietämättään tarkasti minkälaiseksi toimintaympäristö tulevien vuosien aikana muuttuu.

Tutkimukseni rajautuu erään kansallisvaltion energiapoliittisen strategian tarkasteluun. Valitun valtion tarkasteleminen on aiheen kannalta mielekästä, sillä se edustaa kenties maailman tunnetuinta energiapoliittista strategiaa, jonka toteutuksesta vastaa poliittisesti sitoutunut maan hallinto.

Energiastrategioita muuttuvassa tilanteessa ovat laatineet lähes kaikki kansallisvaltiot Yhdysvalloista Kiinaan ja Brasiliasta Venäjään. Saksasta kiinnostavan tutkimuskohteen tekee se, että maa on luonut itselleen kunnianhimoisen ja vahvasti muutokseen tähtäävän energiastrategian. Tutkimuksen aineistona ovat Saksan liittotasavallan energia- ja ilmastopoliittisen tavoitteet sellaisina kuin ne on maan virallisissa dokumenteissa eksplisiittisesti määritelty. Systeemiteoreettisen viitekehyksen näkökulmasta Saksa on myös kiinnostava avoimena adaptiivisena systeeminä, koska sille on määriteltävissä mielekkäät rajat yhtäältä poliittisena entiteettinä ja toisaalta maantieteellisenä alueena. Lisäksi Saksan energiastrategia on tavoitteiden ja mittareidensa osalta kohtuullisen selkeä ja sen arvioiminen on mahdollista sitä koskevien tilastolähteiden perusteella. Tilastolähteet tekevät myös mahdolliseksi arvioida tapausta Chaissonin määrittelemien energiavirtojen osalta.

Saksa on demokraattisen päätöksentekoprosessiin nojaten luonut itselleen tahtotilan, jossa se pyrkii muuttamaan energiantuotantonsa uusiutuvien tuotantomuotojen varaan vuoteen 2050 mennessä. Strategian toimeenpano on myös lähtenyt nopeasti käyntiin, joka antaa mahdollisuuden arvioida toimeenpanon vaikutuksia. Saksan energiastrategia on valmisteltu liittokansleri Angela Merkelin valtakautena, joka jatkuu edelleen ja on siten tarjonnut suotuisan poliittisen kontekstin ja jatkumon strategian toteuttamiselle.

Tiedostan, ettei kansallisvaltiota voi pitää samana asiana kuin yhteiskuntaa, enkä haluaisi luisua tutkimuksessani metodologiseen nationalismiin vaan tiedostaa, että yksittäinen kansallisvaltio on osa laajempaa maailmanyhteiskuntaa ja – kulttuuria sekä monimutkaista verkkoa. (McNeill & McNeill, 2005) Tiedostan kansallisvaltioperusteisen tarkasteluun liittyvän paljon sokeita pisteitä maailmanpolitiikan tutkimuksen näkökulmasta.

Tutkimushypoteesini näkökulmasta kuitenkin juuri yksittäisen kansallisvaltion valitseminen systeemiteoreettisen viitekehikoksi hyödyntämiseksi tuntuu selkeältä. Olen valinnut kansallisvaltion tarkasteltavaksi yksiköksi siitä huolimatta, ettei valtio ole välttämättä tärkein yksikkö ja toimija energiatransformaatioissa. Eniten muutosprosessi vaikuttaa energiayhtiöihin ja niiden asiakkaisiin eli yrityksiin ja kansalaisiin. Kansallisvaltioilla on kuitenkin erityisen merkittävä rooli energiamarkkinoiden säätelijänä. Julkinen infrastruktuuri, valtioiden väliset sopimukset, regulaatio ja kansallisvaltioiden avainrooli kansainvälisissä neuvotteluissa tekee niistä keskeisiä toimijoita.

Nämä strategiat ovat tyypillisesti perspektiiviltään 10-30 vuoden mittaisia ja niistä on kirjattuna myös julkinen paperi. Rajaan tutkimuksessani strategioiden tarkastelemisen tällä samaiselle aikajänteelle. Aikajänne on mielekäs sikäli, että energiapoliittinen transformatio tulee tapahtumaan sen aikana ja siten osoittamaan mikä nyt valituista strategioista tulee olemaan onnistunein.

Käytännössä valittu energiastrategia ilmenee tosiasiallisista tehdyistä investoinneista. Energiatuotantoon tehdyt investoinnit ovat luonteeltaan tyypillisesti vuosikymmenten mittaisia ja siksi niiden tarkastaminen rinnan julkilausuttujen strategioiden kanssa on mielekästä.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltavaksi systeemiksi on valittu Saksan valtio poliittisena entiteettinä. Sellaisenaan edustaa se yhtä ihmiskunnan ja tunnetun maailmankaikkeuden monimutkaisimmista alasysteemeistä.

Saksalaista yhteiskuntaa käsitellään tässä tutkimuksessa systeeminä, jonka kuvitellut rajat kulkevat maantieteellisissä ja institutionaalisissa rajoissa. Systeemi on avoin ja sen läpivirtaavaa energiaa ja materiaa on tilastoitu historian saatossa. Hieman konstikkaampaa sitä vastoin on arvioida Saksan hyödyntämien energiavirtoja silloin kun kyseessä on modernin globaalin tuotantotalouden ilmiö, jossa tuotanto tapahtuu maan rajojen ulkopuolella. Tätä problematiikka käsittelen erikseen hieman myöhemmin tutkimuksessani.

Tutkimuksen kannalta oleellista on ymmärtää, että demokraattinen ja moniääninen päätöksenteko, jota Saksan liittovaltion puitteissa tehdään, vaikuttaa suoraan systeemin omaan toimintaan. Avoin systeemi on toki jatkuvassa vuorovaikutuksessa ympäristönsä

kanssa, mutta tässä tutkimuksessa tyydytään tarkastelemaan päätöksenteon vaikutuksia vain systeemin omaan toimintaan.

### c) SAKSAN LYHYT ENERGIAHISTORIA

Jotta Saksan energiatransformaation taustat tulevat paremmin ymmärretyksi, on ensin paikallaan lyhyesti kuvata Saksan lähiajan energiahistoria. Aikojen saatossa käyttöön valikoituneella energiantuotannon kokonaispaletilla on suuri vaikutus paitsi olemassa olevan infrastruktuurin ja erilaisten poliittisten ja taloudellisten intressien, myös energiantuotannon ja kulutuksen ympärille rakentuneen kulttuurin ja normiston näkökulmasta. (Blackbourn D. , 2013) (Blackbourn D. , 2006).

Energiatransformaatiota ei siis ole voitu aloittaa Saksassa, niin kuin muuallakaan, niin sanotusti puhtaalta pöydältä, vaan systeemi on vahvasti riippuvainen nykyisistä energiavirroista ja lähteistä, joista ne ovat peräisin. Niiden katkaisemista korvaamatta menetettyä energiaa uudella, ei voi toteuttaa ilman välittömiä kielteisiä implikaatioita systeemin toiminnallisuuden kannalta. Fossiilisten polttoaineiden osalta asetelemaa voisi kuvata siten, että pelko niiden äkillisen luopumisen aiheuttamista ongelmista on suurempi kuin ilmastonmuutoksen pelätyt ongelmat.

Saksa on teollisen historiansa aikana rakentanut oman energiankulutuksensa erityisen vahvasti sen omasta maaperästä löytyvän kivihiilen varaan. Saksa ei teollisen historiansa aikana ole ollut lähelläkään energiaomavaraisuutta, sillä se on joutunut tuomaan maahan erityisesti öljyä ja maakaasua. Sähkön tuotannon se on kivihiilen ohella järjestänyt ydinvoiman avulla. (Blackbourn D. , 2006)

Saksan energiankulutus vuonna 2011 oli yhteensä 312 Mtoe.<sup>1</sup> Luku on Euroopan valtioista suurin, joskin saksalaisen yhteiskunnan energiankulutus henkeä kohden on vähemmän kuin muilla jälkiteollisilla ja vaurailta mailla. Luku ei ole kasvanut vuoden 1990 jälkeen, joskaan se ei ota huomioon teknologista kehitystä ja Saksan ulkopuolelta tulevia laitteita ja lopputuotteita, kuten hieman myöhemmin vielä erikseen tarkastelen.

Kuten aiemmin todettu, ei systeemin toiminnallisuuden kannalta oleellista ole se, kuinka paljon primäärienergianlähteitä kuluu, vaan se kuinka suuren osan se energiasta saa käyttöönsä eli mikä hyötyenergian määrä on. Niinpä esimerkiksi energiatehokkuuden kehittymistä ja ulkomailta tuotettujen laitteiden energiapitoisuuksia ei tilastoida. Todellisuudessa saksalaisen yhteiskunnan energiankulutus asukasta kohden ja absoluuttisesti on siis todennäköisesti kasvanut myös 1990-luvun jälkeen. Siihen viittaa myös BKT:n kasvu.

Vuonna 2011 Saksan kokonaisenergian tuotanto jakautui energialähteiden osalta seuraavasti: öljy 32%; kivihiili 24%; maakaasu 22%, ydinvoima 9%; biopolttoaineet ja jäte 8,5%; tuulivoima 1,3%, aurinkovoima 0,7% (IEA, 2013, s. 19). Muiden uusiutuvien osuus oli 0,7% (Saksan liittovaltion talous- ja energiaministeriö, 2011).

Eräs saksalaisen yhteiskunnan erityispiirre on erittäin voimakas kaupungistumisen aste. Se korreloi muun muassa energiatehokkuuden kanssa ja merkitsee pienempää energiatarvetta liikenteelle. Saksalaisten keskimääräinen energiankulutus onkin pienempi kuin OECD-maissa keskimäärin. Toinen erityispiirre liittyy saksan varsin heikkoon energiaomavaraisuuteen.

Erityisen riippuvainen Saksa on ulkomailta tuodusta maakaasusta sekä raakaöljystä

---

<sup>1</sup> Käytän tässä yhteydessä energian mittayksikkönä yleisesti käytettyä yksikköä Mtoe (=megaöljykvivalenttitonnia). Mtoe:lla tarkoitetaan energiamäärää, joka vapautuu kun poltetaan miljoona tonnia raakaöljyä. Todellisuudessa raakaöljylaatujen lämpöarvo vaihtelee, mutta kansainvälisen Energiajärjestön standardimääritelmä öljykvivalenttitonnille on 42 GJ:a.\*

## d) AINEISTON TARKASTELU: ENERGIEWENDE

Tadzio Mullerin mukaan Energiewende on abstraktissa mielessä kahtalainen: tekninen sekä sosiaalinen ja poliittinen. Teknisessä mielessä kyse on Saksan energiajärjestelmän muuttamisesta sähköntuotannon osalta fossiilisten sijaan uusiutuvien energialähteiden varaan. Sosiaalisessa ja poliittisessa mielessä se on ihmis- ja joukkolähtöinen poliittinen hanke. (Muller, 2017)

Vuonna 2010 Saksa hyväksyi suunnitelman kasvattaa uusiutuvien energialähteiden osuutta kokonaisenergiankulutuksessaan 60% tasolle vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteensa se on kuvannut maan hallituksen virallisessa strategiaraportissa: Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply, joka julkaistiin syyskuussa 2010.

Vuonna 2011 Saksan hallitus teki suunnitelmaan muutoksen ydinvoimaa koskien- Se päätti maan ydinvoimaloiden aiempaa suunnitelmaa nopeammin tapahtuvasta alasajosta vuoteen 2022 mennessä. Tämä energiapolitiikka tunnetaan Saksassa ja muualla maailmassa nimellä Energiewende, jota nimitystä myös itse tässä tutkimuksessa käytän.

Energiewenden pääasialliseksi taustavaikuttimeksi on luonnehdittu saksalaisen kansalaisyhteiskunnan ja muiden toimijoiden halua vastata ilmastonmuutoksen asettamaan haasteeseen ja pidemmän välin yhteiskunnalliseen uhkaan. Energiewendessä tavoitteeksi on asetettu hiilidioksidipäästöjen pudottaminen 80% vuoteen 2050 mennessä. Energiewende on laaja ja monimutkainen poliittinen prosessi, joten siihen liittyy myös muita intohimoja ja pyrkimyksiä. Yksi niistä on Saksan energiaomavaraisuuden kasvattaminen sekä raportin otsikostakin ilmenevän edullisen, luotettavan ja ympäristön kannalta kestävän energiatuotannon rakentaminen. (Joas;Joas;Flachsland;& Pahle, 2016).

Energiastrategian johdannossa kerrotaan luotettavan, taloudellisesti menestyvän ja ympäristön kannalta kestävän energiantuotanto järjestelmän olevan yksi tärkeimmistä haasteista 2000-luvulla. Strategiassa linjataan, että Saksasta on määrä tulla yksi energiatehokkaimmista ja vihreimmistä talouksista maailmassa. Lisäksi energiastrategian



päätavoitteiden joukossa on halu turvata kilpailukykyinen energianhinta ja yhteiskunnan vauraus koko yhteiskunnassa.

Energiastrategian pääasiallinen sisältö koostuu eri energiatuotantomuotojen tulevaisuuden uudelleen määrittelystä. Keskiössä on siirtymä fossiili- ja ydinenergiapohjaisesta energiajärjestelmästä uusiutuviin energialähteisiin perustuvaan järjestelmään. Se merkitsee täydellistä vastakohtaa nykyiselle tilanteelle, jossa lähes 90% energiantuotannosta nojaa yhdistelmään fossiilisia energialähteitä ja ydinvoimaa. Strategiassa hahmotellaan tiekarttaa kokonaistavoitteen saavuttamiseksi. Sen tärkeimmät osa-alueet ovat energiatehokkuuden parantaminen, kotimaisten uusiutuvien energialähteiden osuuden kasvattaminen erityisesti sähköntuotannossa sekä yhteiskunnan sähköistäminen ja energiatehokkuuden parantaminen. Strategiassa jätetään joustovaraa sekä teknologisisille että taloudellisille muutoksille.

Energiewendelle on määritelty välitavoitteita. Vuoteen 2020 mennessä on Saksan päästöjen laskettava 40% verrattuna 1990 edeltäneeseen tasoon. Tutkimukseni näkökulmasta oleellista on analysoida energiasstrategian vaikutuksia systeemiteoreettisessa ja lämpöopin reunaehtoien näkökulmasta. Miten strategia vaikuttaa EROIE:n kehitykseen ja systeemin kompleksisuuden tasoon?

## e) ENERGIEWENDE JA EROIE

Tutkimuksen tavoitteena on auttaa ymmärtämään reunaehtoja, joita systeemin energian kulutuksella ja hyödyntämisellä on, ja osoittaa ettei näitä reunaehtoja voi sivuuttaa, kun energiapolitiikka toteutetaan. Tavoitteena ei siis ole esimerkiksi arvioida miten Energiewende onnistuu tavoitteessaan pienentää hiilidioksidipäästöjään vaan selittää, kuinka tiettyjen premissien ollessa vääriä, koko energiasstrategian toteuttaminen vaikeutuu. Yksi Energiewendelle annetuista tavoitteista liittyy edulliseen energian saantiin pitkällä tähtäimellä. Tärkein tapa arvioida Energiewenden mahdollisuuksia toteutua on huomioda sen vaikutus Saksan kokonaishyötyenergian kulutukseen. Tätä voidaan arvioida mittaamalla

Energiewenden vaikutus lyhyellä ja pidemmällä aikavälillä Saksan keskimääräisen EROIE:n kehitykseen.

Konkreettisimmillaan Energiewenden vaikutusta EROIE:en voidaan arvioida laskemalla mikä se vuoden 2010 lähtötasolla on ollut ja vertaamalla sitä tavoiteltuun tilaan vuonna 2050. Eri polttoaineille ja sähköntuotantotavoille arvioidut EROIE-arvot käyvät ilmi alla olevasta taulukosta (Taulukko 1).

Taulukko 1

<b>Polttoaine</b>	<b>EROIE 2010</b>	<b>EROIE Ennuste 2050<sup>2</sup></b>	<b>Osuus kokonaistuotannosta 2010</b>	<b>Osuus kokonaistuotannosta 2050</b>
Kivihiili	65	29 <sup>3</sup>	24%	0-5%

<sup>2</sup> Olosuhteet Saksassa tai energiantuonti Saksaan.

<sup>3</sup> (Wang, 2017)

Öljy	15	8 <sup>2</sup>	32%	0-30%
Maakaasu	15	7 <sup>3</sup>	22%	0-5%
Ydinvoima	75 <sup>4</sup>	75	9%	0%
Biomassa	4	9	9%	10-
Vesivoima	49 <sup>5</sup>	49	1%	1%
Tuulivoima	16 <sup>6</sup>	35	1%	35%
Aurinkovoima	4 <sup>7</sup>	34 <sup>8</sup>	1%	35%

---

<sup>2</sup> (Campbell, 2015)

<sup>3</sup> (Campbell, 2015)

<sup>4</sup> (Weissbach, 2013)

<sup>5</sup> (Weissbach, 2013)

<sup>6</sup> (Weissbach, 2013)

<sup>7</sup> (Weissbach, 2013)

<sup>8</sup> (Bhandari, 2015)

Saksan energiastrategiassa ei määritellä tarkkaa teknologista tiekarttaa sen osalta, miten tavoitteeseen 2050 mennessä päädytään. Energiastrategiassa kuitenkin määritellään tietynlainen kehikko, jonka puitteissa Saksan energiahuolto on järjestettävä.

Toinen seikka, joka tekee EROIE-arvojen vertailemisesta vaikeaa, on se, että niihin liittyvät trendit ovat vaikeasti ennustettavissa. Esimerkiksi öljyn EROIE on kehittynyt viimeisten vuosikymmenten aikana yhä heikommaksi, kun taas esim. aurinko- ja tuulivoiman paremmaksi.

Aurinkopaneeleiden EROIE:n odotetaan paranevan, kun valmistusmenetelmät ja teknologia kehittyvät, materiaalityrpeet pienenevät ja valmistus- ja logistiikkavolyymit kasvavat. (Suokko & Partanen, 2017, s. 96)

Öljyn ja maakaasun EROIE:n laskua on ennustanut öljygeologi Colin Campbell. Hänen mukaansa kannattavuus laskee 1,5-2% vuosivauhtia seuraavien vuosikymmenten aikana. (Campbell, 2015). Tästä saamme arvioin, jonka mukaan niiden EROIE 2050 mennessä olisi 6,7. Käytän arviossani Campbellin rohkeaa arviota kahden fossiilisen polttoaineen EROIE:n laskusta, ja vastaavasti rohkeasti yläkanttiin olevia arvioita uusiutuvien energialähteiden osalta.

Myös kivihiilen laadun osalta nähtävissä on heikkenemistä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa, joissa tuotetaan 15% maailman kivihieilestä, on työtuntia kohden saatu louhitun kivihieilen määrä pudonnut viimeisten vuosien aikana (Suokko & Partanen, 2017, s. 157). Kivihieilen EROIE:n on uskottu Kiinassa laskevan samaa tahtia öljyn ja maakaasun kanssa, joten käytän omassa arviossani tätä päätelmää. (Wang, 2017). Näin ollen kivihieilen EROIE:n vertailuluvuksi vuonna 2050 saadaan 25.

EROIE-vertailun on katsottava nykyisillä tiedoilla tarjoavan toki vain suuntaa antavia päätelmiä. Se ei silti merkitse sitä, etteikö niiden vertailu parempien tietojen valossa voisi olla hedelmällistä.

Yksittäisten energiantuotantomuotojen EROIE:n arvioiminen sekä yksittäisen yhteiskunnan keskimääräisen EROIE:n arviointia Saksan osalta voi soveltaa tutkittuun tietoon esimerkiksi Yhdysvaltojen osalta. D. Weissbachin tutkimuksen mukaan ei ole taloudellisesti kannattavaa

rakentaa voimalaitoista, jonka EROIE on pienempi kuin 7 (Weissbach, 2013). Sen alle menevät luvut eivät voi pitää yllä Saksan kaltaisen yhteiskunnan kompleksisuuden astetta. Weissbachin mukaan ei siis Yhdysvaltojen keskimääräiseksi EROIE:ksi taas on arvioitu n. 40. (Wright & Conca, 2009)

Tutkijat James Conca ja Judith Wright ovat arvioineet erilaisten energiantuotantojärjestelmien ja skenaarioiden välisiä eroja EROIE:n suhteen Yhdysvaltojen osalta. Heidän mukaansa energiantuotantokokonaisuus, jossa Yhdysvaltojen energiatarve tyydytettäisiin kolmanneksen osalta fossiilisilla, toisen kolmanneksen osalta uusiutuvilla ja lopun kolmanneksen osalta ydinvoimalla tarjoaisi keskimääräiseksi EROIE:ksi 36. Tämä kombinaatio olisi heidän mukaansa mahdollista saavuttaa vuoteen 2040 mennessä. Heidän mukaansa se olisi kestävämpi ja realistisempi tavoite kuin kombinaatiolla 50% uusiutuvia, 30% fossiilisia ja 20% ydinvoimaa, jotka yhdistelmänä tarjoavat EROIE:n osalta vain lukua 25. Suhdelukuna 25 olisi Concan ja Wrightin mukaan liian alhainen Yhdysvalloille eikä EROIE:n laskeminen tuolla tasolla ole heidän mukaansa mahdollista.

Tässä tutkimuksessa oleellista on arvioida, minkälaisia vaikutuksia valitulla energiastategialla on systeemin kompleksisuuden asteen säilymisen kannalta. Hypoteesin mukaanhan systeemi ei voi pienentää omaa energiatiheyttään omaa kompleksisuuden astettaan vähentämällä.

Historiallisten esimerkkien nojalla myös vaikuttaa, ettei merkittävä vähennys energiatiheydessä ole systeemin osalta lainkaan mahdollinen, sillä kerrannaisvaikutukset ja riippuvuussuhteet systeemin sisällä ovat liian suuria. Joka tapauksessa voidaan osoittaa, että EROIE:lla on suora vaikutus yhteiskunnan hyvinvointiin kahden keskeisen mittarin eli BKT ja HDI:n osalta.

Saksan Energiewenden onnistumisen edellytyksiä voidaan näin ollen arvioida sen kyvyllä vaikuttaa EROIE-suhdelukuun. Hypoteesin perusteella se ei saisi energiastategian seurauksena laskea alle nykyisen tason. Jos energiastategiassa määritelty tavoite saksalaisen yhteiskunnan vaurastumisesta ja talouden kasvusta halutaan sisällyttää siihen, olisi EROIE:n päinvastoin parannuttava.

Saksan keskimääräiseksi EROIE:ksi saadaan lähtötilanteessa, vuonna 2010, vertailuluvuksi noin 31. Vertaamalla erilaisten energiajärjestelmään liittyvien skenaarioiden EROIE:ta, voidaan vertailla niiden kykyä yltää energiasstrategiassa määriteltäisiin tavoitteisiin.

Oletetaan ensimmäisessä skenaariossa, ettei minkäänlaista muutosta lähtötilanteessa vallinneeseen (vuoden 2010 lähtötaso) energiajärjestelmään tapahtuisi vaan jatkettaisiin niin sanotus *business as usual* -mallin mukaan. Tässä tapauksessa vuoteen 2050 mennessä kehittyvä keskimääräinen EROIE Saksan kohdalla laskisi noin lukuun 20. Se merkitsisi huomattavaa pudotusta nykytilaan verrattuna eikä mahdollistaisi nykyisen kompleksisuuden asteen ylläpitämistä. Skenaarion 1 osalta voidaan siis todeta, että jonkinlaiseen reagointiin Saksassa energiapolitiikassa on joka tapauksessa tarvetta. Ainakaan Concan ja Wrightin tulkinnan perusteella näin suuri energiantensiteetin lasku ei olisi mahdollista millekään yhteiskunnalle.

Taulukko 2

	EROIE 2010	EROIE 2050	Muutos %	
Skenaario 1: Business as usual	31	20	-36%	
Skenaario 2: Energiewende	31	28	-10%	
Skenaario 3: Conca & Wright	31	41	+33%	

Skenaarion 2: Energiewende uusiutuvien osuus on 60%, ydinvoiman osuus vuoden 2011 päätöksen nojalla vuoteen 2050 mennessä 0% ja fossiilisten osuudeksi näin ollen jäisi edelleen 40%. Koska vuoden 2016 Climate Action Planissa on täydennetty suunnitelmaa ja lukittu edelleen päästövähennemäksi 80%, on oletettava, ettei kivihiilen ja öljyn osuus kokonaisuudessa voi olla kovinkaan paljoa. Toisaalta Action Planissa korostetaan myös hiilen talteenoton mahdollisuuksia, joiden avulla konventionaalisemmatkin tuotantomuodot voisivat edelleen tulla kyseeseen. Oletan sen tässä vaiheessa korkeintaan yhteensä 20% suuruiseksi. Loput 20% kokonaisuudesta jäisi siis maakaasun varaan. Tällä kombinaatiolla vuoden 2050

EROIE:ksi tulisi noin 28 eli elintason ja hyvinvoinnin lasku Saksassa vuoteen 2050 mennessä olisi noin 10%.

Concan ja Wrightin mukaan nimetyssä Skenaario 3:ssa Saksan energiajärjestelmän sisältö rakentuisi niin kutsutusta 33/33/34 -mallista, jossa fossiilisille, uusiutuville ja ydinvoimalle varattaisiin kullekin kolmasosa kokonaisenergiantuotannosta. Tässä mallissa EROIE vuoteen 2050 mennessä olisi 41 eli tarjoisi yli 33% materiaalsen elintason kasvun. Päästötavoitteen kannalta se myös olisi selkeästi Energiewendeä tehokkaampi.

## f) SAKSAN ULKOPUOLELLA TUOTETUT TAVARAT JA PALVELUT

Viimeisten 300 vuoden aikana energiantuotannossa tapahtuneet mullistukset ovat johtaneet voimakkaaseen väestön kasvuun kaikkialla teollistuneissa yhteiskunnissa. Suuri osa energian lisätuotannosta on kulunut lisääntyneen väestön uudenlaisten tarpeiden tyydyttämiseen sekä jatkuvasti monimutkaistuneemman yhteiskunnan erilaisten rakenteiden ja toimintojen ylläpitoon. Mutta energian kulutus on kasvanut jatkuvasti myös jälkiteollisissa yhteiskunnissa, joissa väestönkasvu on jo taittunut. Tätä ei tosin pysty tulkitsemaan suoraan valtiokohtaisista energiakulutusta mittaavista tilastoista, joiden mukaan esim. Saksassa energiankulutuksen kasvu näyttää tilastojen perusteella pysähtyneen 1990-luvun alkuvuosina. (IEA, 2013)

Tietyt tilastot kertovat energiankulutuksen kasvun taittumisesta erityisesti OECD-maiden kaltaisten pitkälle teollistuneiden maiden osalta. Kyseiset tilastot eivät kuitenkaan kuvaa energiankäytön osalta koko totuutta ja antavat väärän kuvan todellisuudesta. Globalisaation eteneminen on erityisesti 2000-luvulla tarkoittanut massiivista teollisen tuotannon siirtymistä teollistumisen alkuvaiheessa oleviin maihin. Samalla kulutus on jatkanut kasvuaan maissa, joista tuotanto on alkanut siirtymään muualle. Siksi onkin virheellistä mitata energiankulutusta vain maan rajojen sisäpuolella. Todellisuudessa esimerkiksi saksalaisten viimekädessä hyödyntämää energiaa tuotetaan Kiinassa ja muissa kehittyvissä talouksissa. Todellisuudessa saksalaisen yhteiskunnan käyttämä energian määrä ei siis ole pudonnut vaan peräti jatkanut kasvuaan. Tämä mittaus- ja tilastointiharha haastaa osittain valintaani

tarkastella Saksaa systeemiteoreettisesta näkökulmasta. Kun energiavirtojen hyödyntämistä tarkastellaan kuitenkin laajemmin, on huomattava, että saksalaisten energiantuotanto on kasvanut maan rajojen ulkopuolella, tuttavallisemmin ”Kiinassa”.

Erilaisten energiastrategioiden käytännön arviota hankaloittaa se, että tilastoissa näkyvät vain Saksan maantieteellisten rajojen sisäpuolelle tuotettu ja kulutettu energia. Systeemin kompleksisuuden ja Eric Chaissonin määritelmän mukaisten energiavirtojen kannalta tämä ei kuitenkaan ole riittävä tarkastelutapa.

Kansainvälisen kaupan vaikutuksia energiankulutukseen ei tietääkseni ole tutkittu, mutta vaikutuksia hiilidioksidipäästöihin on. Niiden avulla voidaan myös arvioida energian osuutta. Esimerkiksi Ruotsin hiilidioksidipäästöistä yli 30% tilastoitiin maan rajojen ulkopuolella vuonna 2004. (Caldeira & Davis, 2010). Saksan osalta selviää, että se kuuluu hiilidioksidipäästöjensä osalta niin ikään nettotuojamaihin, vaikka erityisesti maan autoteollisuuden tuotteet muodostavat päästöjen osalta myös vientivaikutuksia. Saksa tuo kaksi kertaa niin paljon hiilidioksidipäästöjä kuin se vie. Sen hiilidioksidipäästöt ovat siis jopa noin kolmanneksen usein mitattua ja ilmoitettua suuremmat. Vastaavasti esimerkiksi Kiinan hiilidioksidipäästöistä voidaan paikantaa jopa puolet kohdistuviksi muualla tapahtuvaan kulutukseen eli Kiinan päästöistä asukaslukuun suhteutettuna tulisi vähentää jopa puolet yleensä ilmoitetusta.

Koska energian tuotanto perustuu tällä hetkellä suurimmilta osin hiiliatomien polttamiseen, voidaan suoraan arvioida, että myös energian kulutus tapahtuu kansainvälisen kaupan myötä muualla kuin siellä missä se maakohtaisissa tilastoinneissa käy suoraan ilmi. Tämä tarkoittaa

sitä, että vaikka Saksan energiankulutus ei näytä tilastoissa kasvaneen viimeisten vuosikymmenten aikana, on se tosiasiallisesti kasvanut muualla tuotettuna. Karkeasti arvioiden hyötyenergian kulutukseen tulisi lisätä maan rajojen ulkopuolella tuotettuna jopa kolmannes. Energian kulutuksen väheneminen selittyy siis huomattavilta osin sillä, että bruttokansantuote ja energian kulutus tilastoidaan tapahtuneiksi eri maissa. Tämä selittää merkittävältä osin sen miksi Saksan talous on kasvanut esimerkiksi BKT:n osalta merkittävä vauhtia joka vuosi vuosien 2010 – 2018 välisenä aikana. Tästä huolimatta energiankulutuksen ja talouskasvun irtikytkentä liittyy oleellisesti niihin premisseihin, joiden varaan osa Saksan energiewendestä on rakennettu. Palaan tähän myöhemmin johtopäätöksissäni.

## g) ENERGIEWENDEN VAIKUTUKSET SYSTEEMIN KOMPLEKSISUUTEEN

Eric Chaissonin teoria energiavirtojen ja systeemin kompleksisuuden välisestä suhteesta kiteytyy lopulta systeemin energiatihyden määrään. Chaissonin suoraan lämpöopista johdettu ajatus kulkee niin, että miten suurempaa määrää systeemin ulkopuolisia energiavirtoja se kykenee hyödyntämään, sitä suuremmaksi systeemin energiatiheys voi kasvaa. Mitä suurempi energiatiheys on, sitä kompleksisemmaksi systeemi omilta toiminnoiltaan voi muodostua. Tietyn kompleksisuuden asteen saavutettuaan systeemi tulee myös riippuvaiseksi saavuttamastaan energiatihyden määrästä. Tästä uudesta kompleksisuuden asteesta tulee systeemin uusi normaali. Siinä mielessä voi pohtia onko saksalainen yhteiskunta vuonna 2018, sen keskimääräisen EROIE:n ollessa 31, sama systeemi kuin vaikkapa saksalainen yhteiskunta vuonna 1919, jolloin se tunnettiin Weimerin tasavaltana, ja jonka keskimääräinen EROIE oli huomattavasti pienempi. Tässä mielessä onkin mielekästä pohtia voiko systeemi jatkaa olemassaoloaan, jos sen EROEI ja käytössä oleva hyötyenergian määrä laskee. Systeemin toiminnallisuuden kannalta oleelliseksi siis muodostuu kysymys: miten ja mistä se kykenee jatkuvasti saamaan käyttöönsä energiaa energiatihyensä ylläpitämiseksi?

Saksa yhteiskuntana on Eric Chaissonin määritelmän mukaisesti yksi kosmisen historian kompleksisimpia tunnettuja systeemejä. Tässä tutkimuksessa on osoitettu, miten Saksan

energiatiheys ja EROIE ovat nousseet historian saatossa, erityisesti viimeisen 300 vuoden kuluessa. Tutkimuksessa on myös osoitettu, kuinka energiatihyden kasvusta on seurannut talouden ja hyvinvoinnin kasvua (BKT ja HDI) ja kuinka ne ovat suoraan kytköksissä energiatihyteen, keskimääräiseen EROIE:iin ja hyötyenergian kulutukseen.

Analysoidaksemme Energiewenden mahdollisuuksia onnistua lämpöopin ja kompleksisuusteorian näkökulmasta, on meidän siis kyettävä arvioimaan, minkälaisia vaikutuksia sillä on systeemiin EROIE:n näkökulmasta.



Energiewenden keskeiset tavoitteet asiakirjojen perusteella ovat seuraavat:

1. 60% energiankulutuksesta tulee perustua uusiutuville energialähteille vuoteen 2050 mennessä
2. Energiankulutuksen päästöjen on oltava 80% pienemmät vuonna 2050 kuin vuonna 1990.
3. Energian oltava nykyistä edullisempaa ja tarjottava Saksalle mahdollisuuden kasvattaa nykyistä vaurauden ja hyvinvoinnin tasoaan
4. Energiantuotannon on oltava vakaata ja kestävää myös ympäristön kannalta

Olen arvioinut, että 60% osuus uusiutuviin olisi saavutettavissa taulukossa 2 kuvatuilla skenaarioilla 2 ja 3, jotta kohdan kaksi ja neljä edellytykset tulisivat toteutetuksi. Energian hintaan liittyvää arviointia on tehty tutkimuksessa kääntämällä se EROIE-yksiköihin. Analyysin perusteella on myös todettu, että Energiewenden mukainen energiantuotantokombinaatio ei kykene ylittämään EROIE:n nykyistä tasoa.

Energiatiheyden ja kompleksisuuden asteen olisi siis säilyttävä vähintään samana, jotta yhteiskunta voi ylläpitää nykyistä hyvinvointinsa tasoa. Jotta Energiewenden tavoite vaurauden ja hyvinvoinnin kasvattamiseksi nykyisestä tasostaan toteutuisi, tulisi kuitenkin energiatihyden, EROIE:n ja niiden myötä myös kompleksisuuden kasvaa.

Tavoitteen toteutumiseksi Energiewenden mukaisella tavalla, olisi tapahduttava vähintään jokin seuraavista asioista:

1. Hyötyenergian määrä kasvaa energiatehokkuuden parantuessa
2. Energiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen mittaaminen siirtyy yhä suuremmissa määrin Saksan rajojen ulkopuolelle
3. Käytettäviin tulee jokin ennalta tuntematon energiantuotantomuoto, jonka EROIE on kyllin suuri

Käytännön mielekkyyden kannalta vaihtoehdot 2 ja 3 on haudattava välittömästi. Näin ollen käy ilmeiseksi, että Energiewenden toteutuminen ja onnistuminen nojaa erittäin rohkean

teknologista kehitystä erityisesti aurinko- ja tuulivoiman tuotantoon povaavan ennusteen (tämä oletus huomioitu valmiiksi taulukossa 1) sekä energiatehokkuuden hurjaan paranemiseen.

---

## 6) Johtopäätökset

Systeemi- ja kompleksisuusteorian, lämpöopin sekä kaikkeuden historian viitoittamaa reunusta totuuden tulkitsemisessa hyödyntäen voidaan todeta, ettei millään systeemillä, siis myöskään saksalaisella yhteiskunnan osalta hyötyenergian kulutuksen, EROIE:n ja energiatihyden laskeminen ole tavoiteltavaa, tai edes välttämättä mahdollista. Energiantuotantoon liittyvät komplikaatiot, joista tärkeimpiä ovat ilmastonmuutoksen kiihtyminen ja fossiilisten polttoaineiden kustannusten kohoaminen, ovat kuitenkin nostattaneet voimakkaan paikallisen ja globaalin kansalaisyhteiskunnan ja muiden toimijoiden ajaman poliittisen vaatimuksen toteuttaa uusiutuviin ja energiankulutuksen vähentämiseen tähtäävä energiatransformaatio.

Saksassa osa tätä laajempaa globaalia energiatransformaatio on sen oma energiastrategia. Siinä yllä mainitut tavoitteet on sidottu tavoitteeseen kasvattaa samalla myös yhteiskunnan vaurautta ja hyvinvointia ja tehdä energiasta aiempaa edullisempaa. Näiden tavoitteiden kytkeminen on ollut poliittisessa mielessä tarpeen, sillä uusia palveluita ja materiaalista hyvinvointia vaaditaan tyyppillisesti absoluuttisessa mielessä lisää ja suurin osa poliittisista sidosryhmistä ja toimijoista ovat sitoutuneet talouden ja hyvinvoinnin kasvun tavoittelemiseen. Sama kasvuun tähtäävä politiikka on valloillaan myös maailmanpoliittisessa kehikossa, ja se tekee Saksan tarkastelemisesta mielenkiintoista myös laajemmin maailmanpolitiikan tutkimuksen ja sen tiettyjen premissien tarkastelun osalta.

Vuonna 2010 alkunsa ja muotonsa saanut Saksan Energiewendenä tunnettu energiastrategia on lähestymässä vuonna 2020 neljännesmatkan krouviansa. Strategiaa on täydennetty sittemmin myöhemmissä politiikka- ja toimenpidesuunnitelmissa, mutta sen lähtökohtaiset premissit ja tavoitteet ovat säilyneet samoina.

Saksan päästöt ovat pudonneet vuotta 1990 edeltäneestä tasosta 27% johtuen pääasiassa Itä-Saksan vanhan teollisuuden lakkauttamisesta. Ensimmäisen vuosikymmenen jälkeen Energiewenden tavoitteet erityisesti hiilidioksidipäästöjen ja fossiilisten polttoaineiden osuuden pienentämisen osalta ovat kuitenkin jäämässä pahasti jälkeen. Tuoreimpien tietojen mukaan Saksa on jäämässä jälkeen päästötavoitteissaan, jotka se on asettanut vuodelle 2020.

#### MIKSI ENERGIEWENDEN TOTEUTTAMINEN ON NIIN VAIKEAA?

Energiastrategian implementoinnin haasteet osoittavat yhden ilmiselvän asian, josta ei kuitenkaan eksplisiittisesti tunnuta puhuvan. Saksa ei voi pienentää systeeminsä käyttämää hyötyenergian määrää. Vuodesta 2010 jatkunut talouskasvu Saksassa on nopeaa ja merkinnyt sitä, että energiankulutus onkin päinvastoin lisääntynyt. Se näkyy energiankulutuksen lisäyksenä Saksan rajojen sisäpuolella sekä Saksassa tapahtuvaan kulutukseen liittyvänä tuotantona maan rajojen ulkopuolella, kuten aiemmin olen pyrkinyt osoittamaan. Kompleksisuusteorian mukaisesti onkin käynyt niin, että yhteiskunnan energiantarve on jyrännyt lopulta alleen muut tavoitteet.

Käytännössä tämä on merkinnyt sitä, että kun ydinreaktoreiden sulkeminen on tapahtunut vuonna 2010 suunniteltua nopeammin ja uusiutuvan energian EROIE ja tuotantokapasiteetti eivät ole nousseet toivottua tahtia, on energiankulutusta jouduttu paikkaamaan konventionaalisilla polttoaineilla. Erityisesti kivihiilen kotimainen hyödyntäminen on kasvanut Saksassa reippaasti. Se on yhtäältä parantanut keskimääräistä EROIE:ta ja energian hintaa, mutta toisaalta kasvattanut kasvihuonepäästöjä.

Tutkimukseni keskeisin johtopäätös suhteessa tutkimuskysymykseen liittyy Energiewenden puutteellisiin premisseihin. Energiastrategian premisseissä ei oteta riittävästi huomioon lämpöopin ja kompleksisuusteorian mukaista energiatiheyttä. Päinvastoin strategian implisiittisenä tausta-ajatuksena on nähtävissä ajatus talouskasvun ja energiankulutuksen mahdollisesta irtikytkeytymisestä. Sille ei kuitenkaan lämpöopin ja kompleksisuusteorian valossa näytä olevan edellytyksiä.

Energiewenden taustapremisseihin tulisikin lisätä selkeänä reunaehtona, ettei energiatiheyden määrää ja EROIE:ta yhteiskunnassa missään olosuhteissa voida pienentää

ilman, että myös talouskasvu ja hyvinvointi samalla putoaisivat. Toisaalta EROIE:n laskeminen tietyn rajan yli saattaa olla jopa mahdotonta systeemin olemassaolon kannalta. Kääntäen voidaan todeta, että Energiewenden tavoitteet vaurauden ja hyvinvoinnin kasvattamisesta sekä edullisemmasta energiasta ovat mahdollisia vain jos keskimääräinen EROIE Saksassa selvästi paranee.

Sekä talouskasvun (BKT) että yleisemmän hyvinvoinnin (HDI) kasvu ja energiankäytön irtikytkeä, on nykyisen tutkimuksen valossa, ei pelkästään vaikeaa, vaan myös mahdotonta. Esimerkiksi OECD-maiden materiaallinen jalanjälki on kasvanut lähestulkoon samaa tahtia taloudellisen kasvun kanssa. (Wiedmann, 2013). Teknologinen kehitys on johtanut aika-ajoin uusiin tapoihin tuottaa energiaa ja parantaa energiatehokkuutta vanhoissa tuotanto- ja kulutusmuodoissa. Tällä on vaikutuksensa primäärienergian suhteelliseen osuuteen kulutuksessa, mutta se ei vaikuta mitenkään hyötyenergian ja kasvun väliseen suhteeseen. Kun lisäksi otetaan huomioon kansainvälisen kaupan aiheuttamat tilastolliset harhat energian tuotantoon ja kulutukseen, on selvää, että vaikka energian osuus talouskasvusta olisikin suhteellisesti pienentynyt, ei se ole missään nimessä siitä irtikytkeytynyt. Näin ollen on huomattava, että talouskasvusta seuraa aina välttämättä absoluuttisessa mielessä vähintäänkin hyötyenergian kulutuksen kasvua. (Suokko & Partanen, 2017) Itse asiassa tutkimukset osoittavat, että esimerkiksi BKT:n ja hyötyenergian välistä irtikytkeä ei ole tapahtunut missään vaiheessa talouskasvun historian aikana (Carter, 2000) (Warr, National Resource Energy Service (REXS) Database, 2016).

Ilman tätä reunaehtoaa uhkaa energiastrategiaa väärät ja irti fysikaalisesta todellisuudesta olevat oletukset, jotka vaikeuttavat sekä poliittista prosessia, strategian hyväksyttävyyttä, että viime kädessä sen toteuttamista. Siitä selkeitä viitteitä on jo havaittavissa niin energiantuotannon komplikaatioina kuin vaikeasti johdettavana poliittisena prosessina, jotka näkyvät niin kustannusten nousuna, investointiympäristön epävarmuutena kuin globaaleiden vuorovaikutusketjujen komplikaatioina.

Jos Energiewende on taustaolettamiltaan puutteellinen tai jopa harhaanjohtava, on kuitenkin todettava myös sen vahvuudet monilta osin. Ensinnäkin, kuten taulukko 2 osoittaa, ei Saksa varmuudella voi lämpöopin ja kompleksisuusteorian näkökulmasta jatkaa vuoteen 2050 kuljettaessa nykyisellä energiantuotantokombinaatiolla johtuen heikkenevästä EROIE:sta

fossiilisten polttoaineiden osalta. Voidaankin siis todeta, että systeemi on herännyt muuttuvaan tilanteeseen ymmärtäen, ettei kestävä kasvu ole mahdollista ilman radikaaleja muutoksia verrattuna nykytilanteeseen. Energiewenden pyrkimykset tältä osin ovat siis oikeat siinä ilmaistuihin tavoitteisiin nähden. Sama koskee tietysti myös selkeää tahtotilaa, jossa tavoite leikata hiilidioksidipäästöjä ilmastouhkan hillitsemiseksi, on pidettävä kunnianhimoisella tasolla.

Energiewendessä oleellista onkin selkeän puitteen luominen uusille investoinneille. Siirtymä hiilettömään tai vähähiiliseen yhteiskuntaan merkitsee välttämättä energiajärjestelmän painopisteen siirtämistä kulutuksesta investointeihin. (Jackson, 2011). Tämä luo kuitenkin nykyisen talousajattelun näkökulmasta illuusion siitä, että investoinnit voitaisiin hoitaa rahalla, jota voi keskuspankkipäätöksellä painaa tarvittaessa lisää. Todellisuudessa kysymys on siitä, sijoittammeko materiaali- ja energiavirtoja tulevaisuuden kulutuksen mahdollistavaan infrastruktuurin vai kulutukseen tässä hetkessä. (Suokko & Partanen, 2017). Tätä ajatusta voisi täydentää lisäämällä resurssipuolelle myös ideoiden tason. Valjastammeko kaiken tiedon, ajan ja innovaatioprosessit tulevaisuuden kasvuun vai kulutukseen tässä hetkessä.

Tämä auttaa myös selkeämmin ymmärtämään, miten ylipäänsä on mahdollista, että Saksa siirtää energiantuotantoaan heikomman EROIE:n tarjoavan teknologiaan piiriin aurinkovoiman ja tuulivoiman sekä biopolttoaineiden muodossa. Kuten Suokko ja Partanen kuvaavat, on tämä mahdollistettu siirtämällä niiden tuotannon vaatimat panokset korkeamman EROIE:n tuotantotavoista alhaisempiin. Käytännössä ylijäämäenergiaa investoidaan Saksassa heikomman tuoton tarjoavaan teknologiaan. Esimerkiksi aurinkopaneelien tuotantoa ja investointeja tuetaan Saksassa erilaisilla subventioilla, veroetuuksilla ja suorilla rahallisilla tuilla. Tämä ei koske vain aurinkovoimaa, vaan on ollut tyypillistä kaikille uusille energiantuotantomuodoille niiden alkuvaiheessa (Suokko & Partanen, 2017, s. 96).

Tämä ilmiö voidaan kuvata siten, että Saksassa on siirrytty energian kulutuksen ajasta energian investoinnin aikaan. Tutkimukseni teoreettisen viitekehyksen perusteella voidaan todeta, että mitään muuta vaihtoehtoa systeemillä ei voisikaan olla sen halutessa muuttaa omaa energiavirtojen hyödyntämisen teknologista pohjaa. Kulutuksen pitäminen ennallaan samalla investoiden uusiin tuotantotapoihin ei myöskään biofysikaalisen taloustieteen näkökulmasta

voisi olla mahdollista. ”Panoksena tässä pelissä ovat talouden kasvun ja yhteiskunnan vakaus.”, kuten Suokko ja Partanen asian kuvaavat. Lopulta aika tulemaan näyttämään miten Saksan Energiewenden tavoitteet tulevat toteutumaan ja minkälaisella kustannuksella.

Yksittäisenä johtopäätöksenä voi todeta, että päästöttömän ja EROIE:n kannalta parhaan mahdollisen energiantuotantomuodon eli ydinvoiman poissulkeminen energiajärjestelmästä ei ole mahdollista ilman että luovutaan joko ilmastotavoitteista tai merkittävästi yhteiskunnan kompleksisuutta (hyvinvointi ja vauraus) pienentämällä (BKT ja HDI).

---

## 7) Lainatut lähteet

- Atkins, P. W. (2010). *The Laws of Thermodynamics: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- Bailey, K. (1990). *Social Entropy Theory*. Albany: State University of New York.
- Bashkar, R. (1975 (2008)). *A Realist Theory of Science*. New York: Routledge.
- Bhandari, K. P. (2015). Energy payback time (EPBT) and energy return on energy invested (EROI) of solar photovoltaic systems: A systematic review and metaanalysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(47), ss. 133-141.
- Blackbourn, D. (2006). *The Conquest of Nature: Water, Landscape, and the Making of Modern Germany*. New York: Norton.
- Blackbourn, D. (2013). *The Culture and Politics of Energy in Germany - A Historical Perspective*. Rache Carson Center.
- Boulding, K. E. (1992). *Towards a New Economics: Critical Essays on Ecology, Distribution, and Other Themes*.
- Bousquet, A.;& Curtis, S. (2011). *Beyond models and metaphors :complexity theory, systems thinking and international relations*. Routledge.
- Caldeira, K.;& Davis, S. (2010). Consumption-based accounting of CO2 emissions. *PNAS*.
- Campbell, C. (2015). *Modelling oil and gas depletion, The Oil Age 2015*.
- Carter, S. (2000). *The Historical Statistics of the United States (The millenium edition)*.
- Chaisson, E. (2006). *Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos*. New York: Columbia University Press.
- Christian, D. (2004). *Maps of Time. An Introduction to big history*. University of California Press.
- Cleveland, C. J. (2009). *Concise Encyclopedia of the History of Energy*. Amsterdam.
- Darwin, C. (1859). *On the origins of Species*.
- Easton, D. (1953). *The Political System: An Inquiry into the State of Political Science*.
- Easton, D. (1965). *A Systems Analysis of Political Life*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Elliot;& Kiel. (1996).
- Eurostat. (2014). *Gross Inland Consumption of Energy*. Noudettu osoitteesta Eurostat:

[http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/File:Gross\\_inland\\_consumption\\_of\\_energy,\\_1990%E2%80%932014\\_\(million\\_tonnes\\_of\\_oil\\_equivalent\)\\_YB16.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/File:Gross_inland_consumption_of_energy,_1990%E2%80%932014_(million_tonnes_of_oil_equivalent)_YB16.png)

Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi). (ei pvm). *Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply*. Berliini: Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi).

Federal Ministry of Finance. (16. Syyskuu 2016).  
Noudettu osoitteesta [www.bundesfinanzministerium.de](http://www.bundesfinanzministerium.de):  
[https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/EN/Standardartikel/Topics/Financial\\_markets/Articles/2016-09-19-Climate-change-and-financialmarkets.html](https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/EN/Standardartikel/Topics/Financial_markets/Articles/2016-09-19-Climate-change-and-financialmarkets.html)

Feynman, R. (1988). *The Feynman lectures in Physics*. Reading: Addison-Wesley.

Fizaine, F.;& Court, V. (Elokuu 2016). Energy expenditure, economic growth, and the minimum EROI of society. *Energy Policy*, ss. 172-186.

Hall, C.;& Klitgaard, K. (2012). *Energy and Wealth of Nations*. Springer.

Harari, Y. N. (2016). *Homo Deus*.

Holland. (1995).

Homer-Dixon, T. (1999). *Environment, Scarcity, and Violence*. Princeton: Princeton University Press.

Homer-Dixon, T. (2006). *The Upside of Down: Catastrophe, Creativity, and the Renewal of Civilization*. Washington, DC: Island Press.

IEA. (2013). *Energy Policies of IEA Countries - Germany 2013 Review*. Pariisi: IEA.

Jackson, T. (2011). *Hyvinvointia ilman talouskasvua*.

Joas, F.;Joas, A.;Flachsland, C.;& Pahle, M. (Elokuu 2016). Which goals are driving the Energiewende? Making sense of the German Energy Transformation. *Energy Policy*, 95, ss. 42-51.

Klein, N. (2014). *This Changes Everything: Capitalism vs. The Climate*. New York: Simon & Schuster.

Korkman, S. (2013). *Talous ja utopia*. Helsinki: Docendo.

Kümmel, R. (2011). *The Second Law of Economics - Energy, Entropy, and the Origins of Wealth*. Springer.

Luhmann. (ei pvm).

Lynas, M. (2008). *Six Degrees: Our Future on a Hotter Planet*. Harper Perennial.



- Mann, C. C. (2011). *1491: New Revelations of the Americas Before Columbus*. Vintage.
- McMichael, A. J. (1993). *Planetary Overload: Global Environmental Change and the Health of the Human Species*. Cambridge: Cambridge University Press.
- McNeill, J.; & McNeill, W. (2005). *Verkottonut ihmiskunta*.
- Meadows, D.; Randers, J.; & Meadows, D. (1972). *The Limits to Growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of humankind*. Tampere: Universe Books.
- Miller, J. G. (1978). *Living Systems*. New York: McGraw-Hill.
- Mitleton-Kelly, E. (2003). *Complex Systems and Evolutionary Perspectives of Organisations\_ The Application of Complexity Theory to Organisations*. Amsterdam: Pergamon Press.
- Morris, C. G.; & Cleveland, C. J. (2013). *Handbook of Energy: Diagrams, Charts, and Tables*. Oxford: Elsevier Science.
- Morris, I. (2010). *Why the West Rules - For Now*. Toronto: McClelland & Stewart.
- Muller, T. (2017). *Diversity is Strength: The German Energiewende as a resilient alternative*. The New Economics Foundation.
- Ollikainen, M.; & Pohjola, M. (2013). *Taloukasvu ja kestävä kehitys*. suomalainen tiedeakatemia.
- Parsons, T. (1991). *The Social System*. Lontoo: Routledge.
- Pinker, S. (ei pvm).
- Ponting, C. (1992). *A Green History of world*. Penguin.
- Prigogin; & Stengers. (1984).
- Prigogine, I. k. (2014). *Modern Thermodynamics*. Wiley.
- Rockström, J. a. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*.
- Saksan liittovaltion talous- ja energiaministeriö. (2011). *Informationsportal Erneuerbare Energien*. Noudettu osoitteesta Informationsportal Erneuerbare Energien: [http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/Daten\\_EE/Bilder\\_Startseite/Bilder\\_Datenservice/PDFs\\_XLS/20130110\\_EEiZIU\\_E\\_PPT\\_2011\\_FIN.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/Daten_EE/Bilder_Startseite/Bilder_Datenservice/PDFs_XLS/20130110_EEiZIU_E_PPT_2011_FIN.pdf)
- Shaffer, B. (ei pvm). *Energy Politics*.
- Sieferle, R. P. (2001). *The Subterranean Forest: Energy Systems and the Industrial Revolution*. Cambridge: The White Horse Press.

- Simmons, J. G. (1996). *Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History*. Oxford: Blackwell.
- Smil, V. (1983). *Biomass Energies*. New York: Plenum Press.
- Smil, V. (1994). *Energy in World History*. Westview Press.
- Smil, V. (1994). *Energy in World History*.
- Suokko, A.; & Partanen, R. (2017). *Energian aika*. Helsinki: WSOY.
- Vaara, E. (2010). Taking the linguistic turn seriously: Strategy as a multifaceted and interdiscursive phenomenon. *Advances in Strategic Management*, 1(27), ss. 29-50.
- Vaara, E.; Mantere, P.; Jacobs, J.; & Balogun, J. (2014). Placing Strategy Discourse in Context: Sociomateriality, Sensemaking, and Power. *Journal of Management Studies*, 2(51), ss. 175-201.
- Wang, J.-L. (2017). *A review of physical supply and EROI of fossil fuels in China*. Springer.
- Warr, B. (2016). *National Resource Energy Service (REXS) Database*. Noudettu osoitteesta <http://tinyurl.com/ze3od92>
- Warr, B.; & Ayres, R. (2012). Useful Work and Information as Drivers of Growth. *Ecological Economics*(73), ss. 93-102.
- Weissbach, D. (2013). Energy intensities, EROIs, and energy payback times of electricity generating power plants.
- Wiedmann, T. (2013). *The material footprint of nations*. PNAS.
- Wright, J.; & Conca, J. (2009). *The GeoPolitics of Energy Achieving a Just and Sustainable Energy Distribution by 2040* Judith Wright James Conca *The GeoPolitics of Energy Achieving a Just and Sustainable Energy Distribution by 2040*. Haettu 2009 osoitteesta <http://www.bnrc.berkeley.edu/>: <http://www.bnrc.berkeley.edu/documents/forum-2009/Presentations/FRIDAY%20JUNE%2012/Session3The%20GeoPolitics%20CONCA%20p1.pdf>